

# **Análise de variabilidade e melhoria de um processo de estampagem de componentes para aerossóis**

*João Afonso Sá Miranda Xavier*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Paulo Osswald



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

2019-07-01

*Para a minha família*

## Resumo

Na indústria de embalagens para aerossóis existe atualmente muita competitividade e oferta de soluções, pelo que são exigidos níveis de excelência nos produtos. A empresa em que foi realizado o presente relatório persegue este objetivo com recurso a várias metodologias de melhoria contínua.

Os materiais para os componentes que integram uma embalagem de aerossóis podem apresentar diversos tipos de revestimentos, conforme o produto ou especificações do cliente. Cada revestimento influencia o comportamento mecânico do material durante o processo de estampagem e por isso, a geometria das peças.

O presente trabalho tem como objetivo principal o estudo do impacto que os diversos tipos de revestimento da matéria-prima tem nos componentes (fundos e cúpulas) finais produzidos. Tem como cerne identificar o que acontece a nível dimensional nos componentes quando o revestimento varia. Assim, foi feita uma análise de todo o processo de estampagem dos componentes e desenvolvido um estudo com base na metodologia seis sigma através de diversas ferramentas estatísticas. O estudo permitiu redefinir as cotas para o novo desenho técnico dos fundos. Através do estudo de capacidade do sistema de medição, foi proposto um novo calibre para aumentar a eficácia dos controlos dimensionais, tendo-se criado um esboço do que seria um calibre para controlar duas cotas e assim poupar tempo e diminuir a variabilidade.

Foi ainda definida uma instrução de trabalho para o setup da linha de produção quando se muda para um material com outro tipo de revestimento, com o objetivo de reduzir o tempo deste procedimento. Esta instrução de trabalho diminuiu o tempo de setup em 75%. Procedeu-se também à criação de uma ferramenta para desenho e definição de cartas de controlo nas linhas de produção e permitir um maior controlo dimensional dos componentes produzidos.

## **Analysis of variability and improvement of a process of stamping components for aerosol cans**

### **Abstract**

In the aerosol Tinplate cans industry, the competitiveness and tremendous offer forces high levels of excellence on the final products. Colep, one company in this industry, pursues this objective with several methodologies of continuous improvement.

The materials for the components of an aerosol can present different kinds of coatings according to the type of product or client specifications. Each of these coatings influences the mechanical behaviour of the material during the stamping process which will affect the component's geometry.

The main purpose of the report in cause is to study the impact of the coatings of the raw material on the final components produced (Bottoms and Tops). The main question is to identify the dimensional changes caused by the different types of coatings. So, through six sigma and several statistic tools, a study was conducted to analyse the whole process of stamping the components that will form a can. With this study, the dimensions for the new technical drawing of the bottoms were redefined. Through a study aimed at the process capacity of the measuring instruments, a new gauge was proposed to improve the efficiency of the measurement process. The new gauge would have an additional feature to control another dimension and by that reduce the time at the controls and decrease the variability.

At the end, a competent plan of actions was developed for the setup of the production line when the coating changes. This standardized plan reduced the time of this task by 75%. Also, a tool was created to implement control charts on the production lines to allow a better dimensional control of the final components.

## Agradecimentos

Agradeço à Colep pela oportunidade de poder realizar este projeto nas suas instalações e ter sido acolhido maravilhosamente por todos os funcionários, sobretudo ao Luis Barbosa, o meu orientador na empresa. Por todo o apoio prestado, conhecimento transmitido e integração proporcionada. Também ao Engenheiro Alexandre Sá, ao Bruno Silva e Armando Costa, as pessoas que mais estiveram presentes e colaboraram na realização deste projeto. Sem esquecer por último, todos os funcionários da Colep, dos diversos departamentos, por toda a prontidão que ofereceram quer no âmbito profissional quer no pessoal.

Agradeço ao Engenheiro Paulo Osswald, orientador da FEUP que prestou todo um apoio inquestionável, disponibilidade e direcionamento durante toda a realização deste projeto.

Agradeço, por último, à minha família e aos meus amigos por todo o apoio prestado durante todo o semestre.

## Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento do projeto e motivação .....	1
1.2	A Colep .....	2
1.2.1	História da Colep .....	2
1.2.2	Valores da Colep .....	3
1.3	Breve Descrição do projeto .....	3
1.4	Método seguido no projeto .....	3
1.5	Estrutura da dissertação .....	4
2	Estado da Arte e Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Qualidade na indústria de Aerossóis com Folha de Flandres ( <i>Tinplate</i> ) .....	5
2.2	Metodologia de controlo de qualidade .....	5
2.2.1	<i>Six Sigma</i> .....	5
2.2.2	DMAIC .....	6
2.2.3	Diagramas de <i>Ishikawa</i> .....	7
2.2.4	Cartas de Controlo.....	8
2.2.5	Análise das cartas de controlo.....	12
2.2.6	Capacidade do processo .....	13
2.2.7	Capacidade do sistema de medição.....	15
3	Situação inicial .....	17
3.1	Embalagens Metálicas para Aerossóis .....	17
3.1.1	Matéria-prima.....	17
3.1.2	Montagem.....	18
3.2	Área de trabalho.....	19
3.3	Tipos de revestimentos .....	21
3.4	Plano de Inspeções de Qualidade .....	22
3.4.1	Controlo Dimensional dos Fundos .....	22
3.4.2	Controlo Dimensional das Cúpulas.....	23
3.5	Definição dos objetivos do projeto .....	24
4	Análise do problema.....	28
4.1	Análise das causas de variabilidade nas linhas 67 e 69 .....	28
4.2	Desenho de Experiência 1 .....	28
4.3	Estudo da capacidade do sistema de medição .....	32
4.4	Experiência 1 na linha 69 .....	34
4.5	Ensaio na Linha 67 .....	40
4.6	Variabilidade interna dos fundos .....	40
4.7	Estudo da matéria-prima .....	41
4.8	Análise das linhas 67 e 69 e importância das cotas CTQ .....	42
4.9	Desenho de Experiência 2 na Linha 69 .....	44
4.10	Nova proposta de cotas para os fundos BT 50 .....	45
4.11	Desenho de Experiência 3 na linha 69.....	46
5	Propostas de melhoria .....	47
5.1	Plano de ações para mudança de material .....	47
5.2	Método de medição da abertura do orleado.....	48
5.3	Implementação de cartas de controlo .....	49
5.4	Outros trabalhos.....	50
6	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	52
	Referências .....	54
ANEXO A:	Normas para Aerossóis de 2 e 3 componentes .....	55
ANEXO B:	Constantes para cartas de controlo.....	56
ANEXO C:	Esquema da zona de trabalhos.....	57

ANEXO D:	Tipos de revestimentos.....	58
ANEXO E:	Plano de Inspeções dos Fundos BT 50.....	59
ANEXO F:	Desenho Técnico dos Fundos BT 50 .....	60
ANEXO G:	Ficha de controlo dimensional dos Fundos BT 50 .....	61
ANEXO H:	Desenho Técnico das Cúpulas TP 48 .....	62
ANEXO I:	Codificações de paragens .....	63
ANEXO J:	Dados para testes de precisão dos instrumentos de medição .....	64
ANEXO K:	Exemplo de uma folha de anotação de valores .....	65
ANEXO L:	Dados obtidos e respetivas análises .....	66
ANEXO M:	Gráficos de dispersão entre cotas dimensionais no ensaio da linha 67 .....	70
ANEXO N:	Dados para a experiência 2 para um dos segmentos .....	71
ANEXO O:	Relógio comparador .....	72
ANEXO P:	Dados da experiência 3 .....	73
ANEXO Q:	Resultados carga horária e peso movido por turno em cada linha .....	74
ANEXO R:	Blocos de senhas .....	75

## Índice de Figuras

Figura 1 - Modelo DMAIC (Jacowski, 2011) .....	7
Figura 2 - Diagrama de Ishikawa .....	8
Figura 3 - Critérios para seleção de cartas de controlo (Montgomery, 2009) .....	9
Figura 4 - Formato característico de uma carta de controlo (Montgomery, 2009) .....	10
Figura 5 - Zonas de uma carta de controlo (Montgomery, 2009).....	13
Figura 6 - Distribuição normal (Montgomery, 2009).....	13
Figura 7 - Distribuições com diferentes capacidades de processo (Montgomery, 2009).....	14
Figura 8 - Coil de Folha de Flandres .....	17
Figura 9 - Quantidade de folha em tira de scroll e tira reta .....	18
Figura 10 - Folha reta (esquerda) e folha com scroll (direita).....	18
Figura 11 - Abertura no corpo para facilitar a cravação.....	19
Figura 12 - Cravação dupla. 1º passe à esquerda e 2º passe à direita (Burton, Alan 2005) .....	19
Figura 13 - Exemplo de um fundo e de uma cúpula.....	20
Figura 14 - Medidas relevantes para os fundos .....	22
Figura 15 - Calibres para Fundos BT 50 .....	23
Figura 16 - Medidas relevantes para as cúpulas .....	23
Figura 17 - Calibres para cúpulas TP 48 .....	24
Figura 18 - Mudança para raio duplo .....	24
Figura 19 - Encravamentos na linha 67 no 1º trimestre de 2019.....	25
Figura 20 - Encravamentos na linha 69 no 1º trimestre de 2019.....	26
Figura 21 - Diagrama de Ishikawa .....	28
Figura 22 - Diagrama de Pareto para a produção de Aerossóis em 2018.....	29
Figura 23 - Diagrama de Pareto da Produção em 2018 para BT 50 por referência.....	30
Figura 24 - Diagrama de Pareto da Produção em 2018 para TP 48 por referência.....	30
Figura 25 - Top 6 revestimentos produzidos em 2018 para BT 50 e TP 48.....	31
Figura 26 - Amostras após execução de pontos de medida.....	32
Figura 27 - Estudo R&R para o paquímetro, lado interior .....	33
Figura 28 - Estudo de Capacidade .....	35
Figura 29 - ANOVA para abertura do Orleado, Lados Esquerdo e Direito .....	37
Figura 30 - Gráfico de dispersão entre a Altura Total e o Diâmetro Exterior.....	39
Figura 31 - Gráfico de dispersão entre o Diâmetro Exterior e a Altura do Orleado .....	39
Figura 32 - Gráfico de dispersão entre a Altura Total e a Abertura do Orleado .....	40
Figura 33 - Esquema representativo de uma folha cortada em tiras.....	41
Figura 34 - Prensa da linha 69 .....	42
Figura 35 - Gráfico da evolução da altura total dos componentes durante a experiência .....	44



Figura 36 - Esquema representativo da utilização de calibres para controlo da abertura do orleado dos fundos.....	48
Figura 37 - Proposta de calibre em SolidWorks.....	49
Figura 38 - Ficheiro Excel para execução de cartas de controlo .....	50

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Linhas da estampagem de aerossóis .....	20
Tabela 2 - Proposta de Cotas para o desenho técnico BT 50 .....	25
Tabela 3 - Nomenclatura dos códigos de encravamento relevantes .....	26
Tabela 4 - Análise de encravamentos nas linhas 67 e 69 .....	27
Tabela 5 - Valores de P/T para os instrumentos de medição.....	32
Tabela 6 - Dados para testes de repetibilidade e reprodutibilidade .....	33
Tabela 7 - Resumo dos estudos de capacidade do processo.....	36
Tabela 8 - Resumo das correlações entre as cotas em estudo .....	38
Tabela 9 - Quadro resumo para as cúpulas TP 48 .....	40
Tabela 10 - Valor médio da amplitude para cada cota dentro de 1 componente.....	41
Tabela 11 - Pesos de tiras de diferentes folhas .....	42
Tabela 12 - Peso dos vários tipos de tiras.....	42
Tabela 13 - Valores das cotas para diversos valores de altura total .....	45
Tabela 14 - Proposta de cotas para os fundos BT 50.....	46
Tabela 15 - Diferenças entre as alturas totais dos componentes para os vários revestimentos .....	47

## **1 Introdução**

O presente trabalho foi efetuado numa empresa industrial de embalagens de metal e plástico, a Colep, e foca-se na área da qualidade de componentes de embalagens metálicas de aerossóis.

Realizado num sector de atividade industrial onde a competição sempre foi bastante elevada, o projeto surge da necessidade de a empresa se destacar pela qualidade dos produtos. A empresa está focada na melhoria contínua e daí proveio a razão deste projeto.

Este capítulo descreve o contexto do projeto, a empresa onde foi realizado, a metodologia utilizada para a sua realização e a organização da dissertação.

### **1.1 Enquadramento do projeto e motivação**

A empresa em que o presente trabalho foi executado é uma das maiores produtoras de embalagens metálicas para aerossóis da Península Ibérica, tem uma grande quota do mercado a nível europeu e tem ambições de uma expansão mundial cada vez maior.

Para atingir quotas de mercado elevadas a par com padrões de qualidade como fatores diferenciadores e rígidas normas, é necessário que os produtos cumpram todos os requisitos necessários de uma forma bastante constante. Para tal, é necessário garantir que todos os componentes de todos os produtos produzidos estão de acordo com os parâmetros pensados pela empresa, desejados pelos clientes e aprovados por normas legais. Uma vez que os produtos em que o projeto se foca são embalagens para aerossóis, existem vários parâmetros vitais para que estes produtos, considerados explosivos, possam ser apresentados no mercado. Um dos mais importantes requisitos é que a embalagem atinga certas pressões sem que ocorra deformação. Visto que estes produtos podem ser utilizados em ambientes domésticos, uma potencial falha pode levar a danos humanos. Como tal, o controlo dimensional de todos os componentes que formam o produto final torna-se uma responsabilidade muito importante. A produção anual destes produtos na Colep eleva-se aos milhões de unidades.

Este projeto foi realizado na área de estampagem de aerossóis na Colep. Os componentes fabricados nesta importante área da empresa são as cúpulas e os fundos que depois, com um terceiro componente, o corpo, formarão uma embalagem de aerossol metálica.

Devido ao grande número de clientes e seus diversos requisitos de produtos para múltiplos sectores industriais, o tipo e acabamento de matéria-prima varia. Para tal, existem múltiplos revestimentos que podem ser aplicados à matéria-prima que abastece as linhas de produção desta área da fábrica. Há, então, pertinência de se entender a variabilidade dimensional nas cúpulas e nos fundos devido aos diferentes tipos de revestimento. Mais que isso, é necessário redefinir quais as cotas e tolerâncias relevantes para os componentes intermédios que formam o produto final de modo a garantir que este último esteja sobre controlo e quais os ajustes ou procedimentos a executar em cada linha após uma alteração no tipo de folha que a alimenta.

A revisão e definição das cotas e tolerâncias torna-se ainda mais crítica devido à mudança do desenho técnico dos fundos, ocorrida em setembro de 2018.

No âmbito deste projeto está também prevista a definição da capacidade do processo das linhas de produção e possíveis alterações ou afinações nas máquinas.

## 1.2 A Colep

A Colep, uma empresa formada em 1965, conta com uma vasta história e tem grande renome na indústria de embalagens metálicas. Com presença em todos os continentes, está em constante crescimento e prima pela melhoria contínua para se afirmar nos diversos mercados. Atualmente, a maior fábrica encontra-se em Vale de Cambra, Portugal, lugar onde foi realizado este projeto e lugar também da fundação da Colep.

### 1.2.1 História da Colep

A Colep, fundada em 1965 por Ilídio Pinho, iniciou a sua atividade na indústria de embalagens com o fabrico e comercialização de embalagens metálicas decorativas. Logo de seguida, expandiu a diversidade dos seus produtos, passando a fabricar também embalagens industriais e posteriormente, embalagens metálicas alimentares e para aerossóis.

Apenas dez anos depois, deu um grande passo no aumento de áreas de negócio, tendo-se criado uma zona inteiramente nova na fábrica destinada ao enchimento de embalagens. Desde esse momento, com a adição desta atividade, a Colep tem proporcionado aos clientes que o produto final seja todo embalado nas instalações da sua fábrica, quando antes tal era levado a cabo por outras empresas ou pelos seus clientes.

Em 1982 é adicionada uma outra secção na fábrica com um novo leque de produtos associado, as embalagens plásticas para produtos cosméticos, limpeza doméstica e produtos lubrificantes.

Após uma grande expansão no mercado português, tornou-se possível continuar a expandir internacionalmente. Em 1989, a Colep entrou no mercado europeu com a aquisição da *Scunthorpe and Grimsby Sites*, no Reino Unido. Com o crescimento rápido, tornaram-se possíveis as aquisições da *Rapid-Spray GmbH, Laupheim*, Alemanha e de uma fábrica em Navarra, Espanha, ambas em 1999. Após esta última aquisição, a posição de dominância na indústria de embalagens metálicas foi alcançada na Península Ibérica.

Em 2001, a Colep é adquirida na sua totalidade pela *Iberholding – Sociedade Gestora de Participações Sociais, S.A.*, pertencente ao Grupo RAR.

Em 2002, a presença no mercado europeu é reforçada através da criação estratégica de uma fábrica de enchimento de embalagens na Polónia. No ano de 2004, a Colep assume ainda mais esta presença e passa a chamar-se Colep CCL, fruto da fusão com a *CCL Custom Manufacturing Europe*. Torna-se assim na maior empresa europeia de *Contract Manufacturing* de enchimento de aerossóis.

Em 2009, é completada a aquisição da empresa *Czewo Full Filling Service GmbH*, Alemanha e pouco tempo depois, em 2010, dá-se a entrada do Grupo RAR no Brasil, pela aquisição por parte da Colep CCL de 51% da *Provider*, fornecedor líder no Brasil de produtos de higiene pessoal e produtos líquidos de limpeza doméstica. Mais tarde (2015), as 3 novas fábricas brasileiras deste grupo brasileiro iriam ser adquiridas a 100%.

Em 2011, o nome da empresa volta a ser Colep e em 2013, mais uma fábrica de enchimentos é adquirida no México. Nesse mesmo ano, a Colep estabelece 2 parcerias muito vantajosas. Uma no Médio Oriente com a *Scitra* e outra com a *One Asia Network*, abrindo portas a todo o continente asiático.

A última fábrica adquirida até ao momento foi em *Kleszczów*, Polónia, em 2016.

### 1.2.2 Valores da Colep

Os valores da Colep focam-se nos seguintes pontos:

- *Customer Focus*: foco no cliente e total dedicação às suas necessidades e requisitos;
- *Ethics*: ética, respeito e confiança em toda a organização;
- *Learning and Creativity*: aprendizagem e criatividade na descoberta e criação de novas soluções;
- *Value Creation*: compromisso de criação de valor para os seus clientes;
- *Passion for Excellence*: um esforço pela melhoria contínua e excelência em todas as atividades.

### 1.3 Breve Descrição do projeto

Este projeto incidiu na área de qualidade na Estampagem de Aerossóis e visa melhorar a produtividade das linhas de produção associados a estes componentes, atuando em particular no índice de qualidade. A qualidade está, neste caso, associada à implicação que estes componentes possuam as dimensões pretendidas pelo processo de montagem, pelo cliente e pelas normas legais.

O projeto foi enquadrado na equipa da estampagem de aerossóis, sob orientação do gestor de produção e do gestor da fábrica.

Os objetivos deste projeto são, genericamente, analisar a variabilidade de duas linhas de produção, uma linha de fundos e uma de cúpulas.

O projeto teve como objetivo responder a questões como:

- Qual a influência do tipo de revestimento da folha de alimentação no processo de estampagem?
- Quais os ajustes ou afinações a efetuar nas máquinas quando se altera o tipo de folha de alimentação?
- Que tipo de controlo é feito atualmente e o que pode mudar?
- Quais as cotas que atualmente são controladas e/ou toleranciadas, quais não são e quais deveriam ser?
- Quais os valores ótimos das cotas a controlar de forma a reduzir a variabilidade?
- Quais as cotas ideais para o novo desenho técnico dos fundos?

Como entregáveis pretendia-se, um desenho técnico para os fundos de diâmetro 50 com raio duplo, um procedimento standardizado para o controlo estatístico e um segundo para o acerto do processo no caso de mudança de folha de alimentação com um revestimento diferente da anterior.

O objetivo final será estender o estudo às restantes linhas de produção na estampagem de aerossóis para replicar os mesmos resultados.

### 1.4 Método seguido no projeto

A dissertação, ao longo da sua realização, progrediu através da metodologia DMAIC:

- *Define*: Formação e Integração pelos vários departamentos da Colep; Identificação e conhecimento aprofundado dos processos de interesse para o estudo; Definição de todo

o processo a nível técnico para identificação de características relevantes dos componentes que fossem pertinentes controlar e variáveis que possam influenciar o processo produtivo;

- *Measure*: Medição das amostras para uso estatístico;
- *Analyze*: Análise e modelação dos dados das amostras; Análise de causas possíveis de variabilidade;
- *Improve*: Implementação de soluções e melhorias para os problemas encontrados.
- *Control*: Garantia da sustentabilidade das melhorias e standardização do processo.

## 1.5 Estrutura da dissertação

Este trabalho está organizado em 6 capítulos. No atual capítulo é feita uma introdução do contexto do projeto, da empresa onde foi realizado, dos objetivos e da metodologia utilizada no mesmo.

O capítulo 2 tem por base uma revisão bibliográfica onde se apresentam as áreas mais relevantes de conhecimento que foram aplicadas na realização desta dissertação.

No Capítulo 3 é contextualizada a zona da fábrica onde se desenvolveu o estudo e é feita uma caracterização dos processos e operações industriais pertinentes, sendo o problema em análise abordado com mais ênfase e detalhe.

No capítulo 4 é analisado o problema e possíveis causas de variabilidade no mesmo. Realizam-se também desenhos de experiências e propõem-se melhorias possíveis.

O capítulo 5 aborda as propostas de melhoria da linha de produção e apresenta um breve resumo de outros trabalhos realizados na empresa.

No capítulo 6 são retiradas conclusões do trabalho e abordados os trabalhos futuros de interesse.

## 2 Estado da Arte e Revisão Bibliográfica

### 2.1 Qualidade na indústria de Aerossóis com Folha de Flandres (*Tinplate*)

Embalagens de folha de flandres para aerossóis estão bastante presentes no nosso quotidiano em diversos produtos. Os seus mercados incluem indústria alimentar, cosmética, técnica e manutenção doméstica, e os produtos estão sujeitos a inúmeros controlos em todas as fases da sua produção até chegar ao consumidor. Estes controlos são muito exigentes, pelo facto de que a embalagem pressurizada é um explosivo. Por isto, existem normas legais que têm de ser cumpridas. Aqui apenas serão consideradas as normas relevantes para os objetos em estudo, neste caso as normas dimensionais para as cúpulas e os fundos em embalagens de 3 componentes, definidas pela FEA (*European Aerosol Federation*). As normas para embalagens de Aerossóis de Folha de Flandres encontram-se no anexo A, proveniente da FEA.

Os requisitos legais e técnicos definidos em standards e especificações técnicas referem-se a parâmetros de resistência estrutural, dimensões e respetivas tolerâncias quer para os produtos finais, quer para os seus componentes.

### 2.2 Metodologia de controlo de qualidade

A variabilidade é algo inerente a todos os processos. Segundo Douglas Montgomery (2009), ‘a variabilidade é inversamente proporcional à qualidade’. Para se ter um processo capaz é então necessário que a variabilidade fique contida dentro da tolerância. A variabilidade pode provir de causas assinaláveis ou de causas aleatórias. A proveniente de causas aleatórias não pode ser controlada, mas a oriunda de causas assinaláveis pode ser sempre reduzida.

Com o aumento da procura de produtos com qualidade e foco na redução de custos, muitas mudanças têm sido feitas na indústria nos últimos anos. A importância de assegurar a qualidade de um produto tem vindo a aumentar e por esse efeito foram desenvolvidas várias metodologias. O SPC (controlo estatístico do processo) é uma dessas metodologias e usa cartas de controlo para auxiliar operadores, gestores ou supervisores na monitorização do output de um processo. Outras metodologias incluem o *Six-sigma* e o *Lean Six-sigma*.

Para se melhorar a qualidade, há certas ferramentas essenciais para Joseph Juran (Durakbasa & Osanna, 2017). Estas 7 ferramentas são:

- cartas de controlo;
- histogramas;
- diagramas de pareto;
- diagramas de dispersão;
- fluxogramas;
- diagramas de *Ishikawa*;
- folhas de verificação.

Nas próximas secções, irão ser abordadas as ferramentas e as metodologias pertinentes para este trabalho.

#### 2.2.1 *Six Sigma*

Six Sigma é uma evolução do que se conhecia como TQM (*Total Quality Management*) e foi desenvolvida no final dos anos 80 na Motorola. Pode ser visto como uma acumulação de

princípios e práticas desenvolvidos pela gestão da qualidade. Foca-se em estabelecer indicadores de referência de desempenho e executar, com base numa estrutura organizacional, uma metodologia para os alcançar. É aplicável com o intuito de reduzir a variabilidade e assim, aumentar o valor dos produtos e serviços do ponto de vista do consumidor. Promove também um aumento na eficiência em todos os processos dentro de uma organização (Pyzdek e Keller, 2010). De uma forma geral, o six-sigma promove a Cadeia de Reação de *Deming*. Esta cadeia defende que um aumento na qualidade dos produtos ou serviços leva a uma diminuição de custos devido a menos erros, atrasos e a um melhor uso do tempo e materiais. Com a diminuição dos custos, consegue-se um aumento na produtividade e uma redução no custo dos produtos/serviços, que pode ser transferida para os clientes, e uma melhor qualidade. Assim, uma organização mantém-se mais tempo no ativo, pode conquistar cota de mercado e por conseguinte gerar mais postos de emprego ao longo do tempo (Shewhart, 1986).

O termo seis-sigma remete para uma estatística usada para descrever variabilidade, no qual a unidade de medida é o defeito por unidade. O nível de qualidade sigma de um processo oferece um indicador da probabilidade de um defeito acontecer. Um nível de qualidade sigma superior indica um processo em que a probabilidade de defeitos ocorrerem é menor. Seis-sigma tem 3 elementos fundamentais (Montgomery, 2009):

- Uma medida: uma definição estatística de quanto um processo se desvia da perfeição;
- Um objetivo: 3,4 defeitos por cada milhão de oportunidades;
- Uma filosofia: uma estratégia a longo prazo focada na redução de custos através da redução de variabilidade nos produtos ou processos.

Um processo com um nível de qualidade seis-sigma (objetivo ideal) apresenta 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, ou seja, uma percentagem de defeitos de 0,00034%. No entanto, se verificarmos uma tabela de probabilidades associadas à distribuição normal padronizada, o valor apresentado para este nível seria de 0,002 defeitos por milhão de ocorrências. Esta diferença deve-se ao facto de, quando a Motorola criou este processo, ter considerado que a média de um processo pode variar 1,5 sigma em ambas as direções. Com uma nova consulta numa tabela de distribuições normais, o valor apresentado para um desvio unilateral de 4,5 sigmas é então 3,4 defeitos por milhão (Montgomery, 2009).

O processo seis-sigma é executado por equipas com métodos de recolha de dados extremamente rigorosos e processos de análise estatística para encontrar causas de defeitos e soluções para eliminá-las.

O seis-sigma tem como base o modelo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*), utilizado geralmente para a melhoria dos processos com foco na qualidade dos produtos/serviços. Este modelo é baseado no ciclo de *Deming* ou ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). Neste novo modelo, usam-se 5 etapas como metodologia.

### 2.2.2 DMAIC

**Definir:** Uma equipa identifica um projeto baseado em objetivos definidos pela organização ou necessidades do cliente. São identificados os indicadores *critical-to-quality* (CTQ) que são consideradas fundamentais para a qualidade do produto. Serão também estes os indicadores a estudar nas próximas fases do DMAIC.

**Medir:** Os processos chave que influenciam as características CTQ são identificados e medem-se os defeitos do processo na situação inicial. Assim, com a ajuda das ferramentas de qualidade como histogramas, define-se o comportamento das variáveis mais relevantes para o processo.

**Analisar:** O objetivo desta fase é mapear todas as causas possíveis de variabilidade no processo. Nesta fase é muito utilizado o Diagrama de *Ishikawa*. É frequente, nesta fase, o desenho de experiências para quantificar qual o efeito de cada variável no processo.

**Melhorar (Improve):** O processo é modificado para reduzir causas de variabilidade. Definem-se as tolerâncias máximas para as variáveis e é validado um sistema de medição de desvios para as mesmas.

**Controlar:** Ferramentas e procedimentos são estandardizados para que, com o decorrer do tempo, se possa garantir que as variáveis em estudo se mantêm dentro das tolerâncias definidas.

Este processo é cíclico visto que o processo de melhoria contínua nunca termina. O objetivo six-sigma na prática nunca é alcançado por ser tão ideal. Assim, conseguem-se pequenas melhorias em cada ciclo percorrido (Knowles, 2011).



Figura 1 - Modelo DMAIC (Jacowski, 2011)

### 2.2.3 Diagramas de Ishikawa

Este diagrama, também conhecido por diagrama de causa-efeito, é utilizado para a classificação de processos de produção e enumeração de potenciais causas de efeitos. Para além de tudo isto, é muito eficiente para registar e organizar ideias geradas em sessões para se obter possíveis causas de algum problema encontrado.

Esta ferramenta é muito utilizada na fase de análise do DMAIC. Deve-se, numa sessão de *brainstorming* ou outra técnica de geração de ideias, definir um problema numa característica de qualidade e identificar possíveis causas para o mesmo. Normalmente existem categorias em que as causas podem ser agrupadas, dependendo da sua natureza. Num ambiente industrial são frequentemente consideradas as 6 tipologias de causas assinaladas na figura 2, sendo esta metodologia conhecida como '6M'. Um exemplo de grupo muito utilizado é Meio Ambiente, em que se consideram causas como a temperatura ambiente, pressão atmosférica, entre outras.

Este documento deve estar sempre aberto, de forma a poderem ser adicionadas causas descobertas noutra altura.



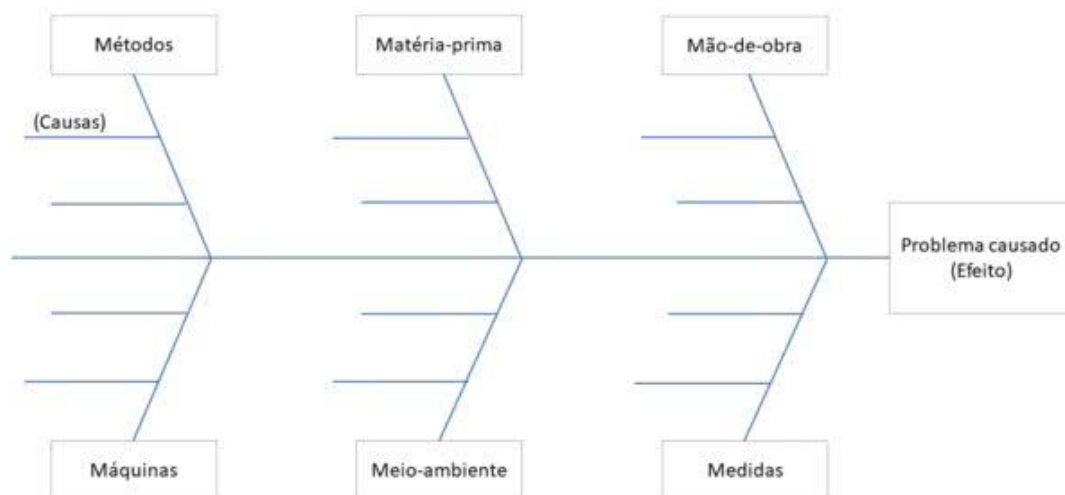


Figura 2 - Diagrama de Ishikawa<sup>1</sup>

#### 2.2.4 Cartas de Controle

As cartas de controle, inventadas por *Walter A. Shewhart*, têm como objetivo verificar se um processo está sob controle estatístico e identificar possíveis causas de variação. Segundo Shewhart (1986), existem dois tipos de variações presentes em todos os processos, as aleatórias e as que seguem um padrão. Estas últimas estão associadas a causas assinaláveis e são indesejadas no processo. Geralmente, provêm de máquinas mal ajustadas, erros de operadores ou de matéria-prima defeituosa. Um processo diz-se em controle se apenas existirem causas de variação aleatórias. Estas podem ser consideradas inerentes ao processo. As variações responsáveis por causas assinaláveis, podem ser removidas através de um diagnóstico eficaz e posteriores alterações no processo.

Uma carta de controle é uma disposição gráfica de uma característica de qualidade observada e medida através da recolha de uma amostragem. As cartas de controle estão bastante implementadas atualmente devido às suas vantagens (Shewhart, 1986):

- Aumento da produtividade através da redução de desperdício técnico e retrabalho (tempo de trabalho despendido num produto defeituoso);
- Eficácia na prevenção de defeitos através do controle do processo;
- Distinção da variabilidade proveniente de causas aleatórias da de causas assinaláveis, evitando ajustes desnecessários no processo;
- Fornecimento de informação pertinente sobre quando atuar sobre o processo;
- Fornecimento de informação sobre a capacidade do processo.

O tipo de carta depende da amostra e do tipo de característica em estudo. Existem cartas de controle para variáveis ou para atributos. O tamanho da amostra ( $n$ ) é muito importante para a definição das cartas de controle. De acordo com o Teorema do Limite Central, se retirarmos amostras de uma população em que os valores individualmente não seguem uma distribuição normal, quanto maior for a dimensão da amostra, maior será a tendência dos valores das médias das amostras se aproximarem de uma distribuição normal. Um  $n$  maior equivale a uma maior capacidade de deteção de causas de variabilidade, no entanto fica mais dispendioso (Oakland,

<sup>1</sup> “in [dicionariofinanceiro.com/diagrama-de-ishikawa/](http://dicionariofinanceiro.com/diagrama-de-ishikawa/) consultado a 12/06/19 às 16:00 horas”

2003). O problema geral do tamanho  $n$  define-se por ‘*allocating sampling effort*’, em que se recolhe amostras menores em curtos intervalos de tempo, ou então amostras maiores num período de tempo maior. A indústria costuma favorecer amostras menores mais frequentes, especialmente em unidades industriais de alta cadência (Montgomery, 2009). Os tipos de cartas de controlo existentes estão presentes na imagem seguinte e apresentam os diferentes critérios de escolha (Montgomery, 2009).

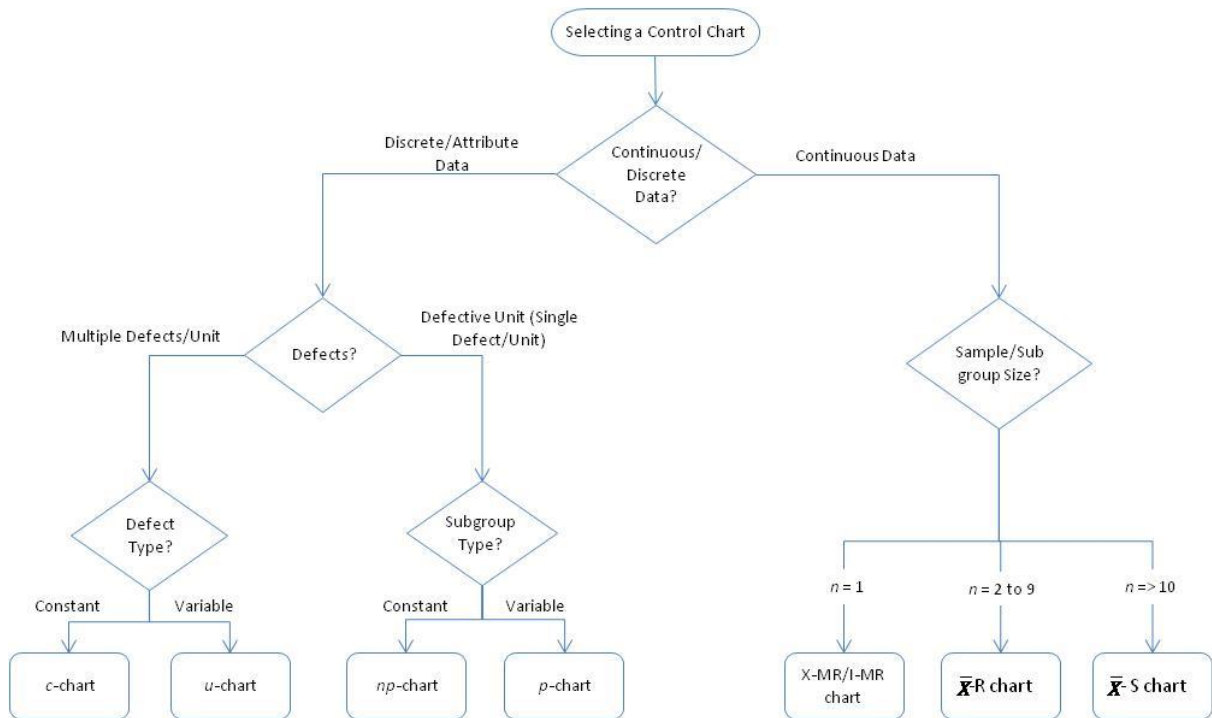


Figura 3 - Critérios para seleção de cartas de controlo (Montgomery, 2009)

Quando a característica de qualidade em estudo é uma variável, é necessário monitorizar a média e a variabilidade. A média é monitorizada com a carta de controlo  $\bar{\bar{x}}$  e a variabilidade com a carta de controlo  $s$  (monitoriza o desvio padrão da amostra) ou com a carta  $R$ , que apresenta a amplitude. A carta de controlo mais utilizada é a  $\bar{\bar{x}}$ . $R$ , uma combinação da primeira e da última referida. As cartas de controlo  $s$  são geralmente utilizadas em duas situações, quando a amostra está dividida em subgrupos em que cada um destes possui um número de elementos elevado, tipicamente  $n > 10/12$  ou quando  $n$  é variável.

A carta de controlo  $\bar{\bar{x}}$  é constituída por:

- Uma linha central (CL) que representa a média dos valores observados para a característica em estudo;
- Duas linhas horizontais de limites de controlo superior (UCL) e inferior (LCL) definidas também pela dimensão da amostra;
- Os pontos da característica em estudo, geralmente conectados por linhas para se poder observar a sua evolução ao longo do tempo.

Tipicamente, as linhas UCL e LCL estão a uma distância de três vezes o desvio padrão da amostra em relação à linha central. Todos os pontos de controlo devem cair dentro destas 2 linhas para que possamos dizer que o processo está sob controlo. Basta que um ponto se encontre de fora para existir um motivo de investigação para alguma causa de variabilidade não assinalável.

A carta de controlo  $R$  é constituída por:

- Uma linha central (CL) que representa média das amplitudes registada (para os subgrupos da amostra);
- Duas linhas horizontais de limites de controlo superior (UCL) e inferior (LCL);

- Os pontos da amplitude, também eles geralmente conectados por linhas para se poder observar a sua evolução ao longo do tempo.

No entanto, nem sempre é mais vantajoso recolher uma amostra através de subgrupos. Muitas vezes, os dados recolhidos são através de medidas individuais. Podemos dizer que se trata de um subgrupo de  $n=1$ . Para este efeito, utilizam-se cartas de controlo I-MR, compostas por 2 gráficos, a carta de controlo individual e a carta de controlo da amplitude móvel (*Moving Range*).

A carta de controlo I tem a mesma base que a carta de controlo  $\bar{x}$ , só que os pontos são as medidas em si e não as médias dos subgrupos. A carta de controlo MR, assemelha-se também à carta de controlo R, só que para este caso, os valores dos pontos correspondem a amplitudes móveis.

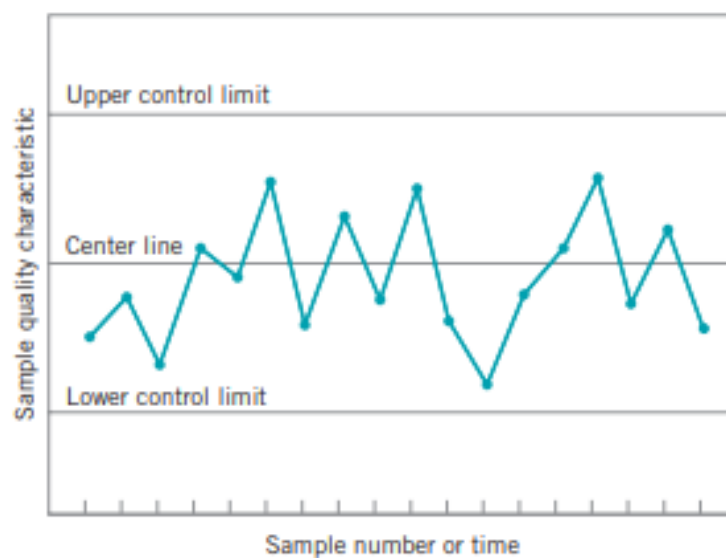


Figura 4 - Formato característico de uma carta de controlo (Montgomery, 2009)

Construção dos gráficos  $\bar{x}$ .R

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2.1)$$

Onde:

$\bar{x}$ , é a média da amostra

$n$ , é o número de peças da amostra dentro de um subgrupo, e

$x_n$ , é o valor da variável observada em cada peça.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2.2)$$

Onde:

$m$ , é o número de amostras, e

$\bar{\bar{x}}$ , é a média total das amostras.

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (2.3)$$

Onde:

$R$ , é a amplitude numa amostra

$x_{max}$ , é o valor máximo dentro de uma amostra, e

$x_{min}$ , é o valor mínimo dentro de uma amostra.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_m}{m} \quad (2.4)$$

Onde:

$\bar{R}$ , é a média das amplitudes das amostras, e

$m$ , é o número total de amostras.

Para a carta de controlo  $\bar{x}$ :

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \times \bar{R} \quad (2.5)$$

Onde:

$UCL$ , é a linha de controlo superior, do inglês *Upper Control Line*, e

$A_2$ , é uma constante tabelada.

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \times \bar{R} \quad (2.6)$$

Onde:

$LCL$ , é a linha de controlo inferior, do inglês *Lower Control Line*, e

$A_2$ , é uma constante tabelada.

Para a carta de controlo  $R$ :

$$UCL = D_4 \times \bar{R} \quad (2.7)$$

Onde:

$UCL$ , é a linha de controlo superior, do inglês *Upper Control Line*, e

$D_4$ , é uma constante tabelada.

$$LCL = D_3 \times \bar{R} \quad (2.8)$$

Onde:

$LCL$ , é a linha de controlo inferior, do inglês *Lower Control Line*, e

$D_3$ , é uma constante tabelada.

As constantes das equações 2.5, 2.6, 2.7 e 2.8 são tabeladas para diferentes valores de  $n$ . Os seus valores encontram-se na tabela do anexo B.

*Construção dos gráficos I.MR*

As fórmulas são as mesmas para as cartas de controlo  $\bar{x}$ .R, apenas varia o valor da amplitude móvel (MR) para a carta R e as fórmulas de UCL e LCL para I.

$$MR = |x_1 - x_{i-1}| \quad (2.9)$$

$$\overline{MR} = \frac{MR_1 + MR_2 + MR_3 + \dots + MR_m}{m} \quad (2.10)$$

$$UCL = \bar{x} + 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2.11)$$

$$LCL = \bar{x} - 3 \times \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (2.12)$$

Sendo  $d_2$  também uma constante tabelada no anexo B.

**2.2.5 Análise das cartas de controlo**

As cartas de controlo, depois de se obterem dados suficientes para a sua análise, devem ser submetidas a uma análise visual. Existem vários critérios para definir se um processo está em controlo ou não e são perceptíveis através de padrões não aleatórios nos gráficos (Montgomery, 2009). Estes padrões podem ser:

- Cíclicos - variações cíclicas, resultantes de mudanças ambientais sistemáticas ou flutuações em variáveis do processo de produção;
- Misturas - pontos próximos dos dois extremos e longe da linha central, causado por 2 populações diferentes ou então por ajustes muito frequentes no processo;
- Mudanças - os valores mudam repentinamente, revelando alterações no processo, causadas por introdução de mudanças numa variável do processo;
- Tendências - os valores demonstram um movimento contínuo numa direção, geralmente provocado pelo desgaste de uma ferramenta;
- Estratificação - os pontos tendem a permanecer todos junto da linha central sem variabilidade.

De uma maneira sucinta, apresentam-se as seguintes regras de análise de cartas de controlo mais utilizadas. As primeiras quatro são do *Western Electric Handbook* (1956) e referem-se a apenas metade da carta de controlo. As outras seis, são regras para aumentar a sensibilidade das cartas de controlo que são apresentadas por Montgomery (2009). As regras são então;

- Um ou mais pontos fora do mesmo limite de controlo;
- Dois de três pontos consecutivos fora dos limites de aviso dois-sigma, mas dentro dos limites de controlo;
- Quatro de cinco pontos consecutivos fora dos limites de aviso um-sigma;
- Oito pontos consecutivos de um lado da linha central;
- Seis pontos consecutivos a aumentar ou a diminuir;
- Quinze pontos consecutivos dentro das zonas C;
- Catorze pontos consecutivos alternados acima e abaixo da linha central;
- Oito pontos consecutivos nos dois lados da linha central, mas nenhum deles na zona C;
- Padrão não aleatório nos dados;
- Um ou mais pontos perto de um limite de controlo.

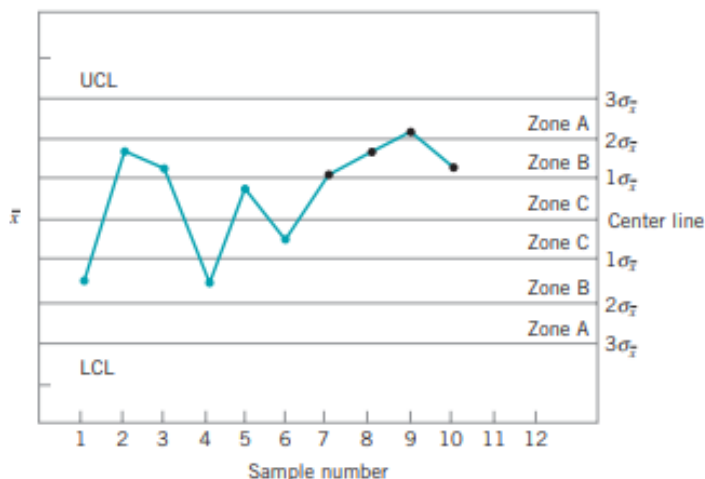


Figura 5 - Zonas de uma carta de controlo (Montgomery, 2009)

### 2.2.6 Capacidade do processo

Capacidade do processo refere-se à uniformidade do processo, ou seja, uniformidade do output deste. A uniformidade é medida através da variabilidade das características CTQ. A variabilidade pode acontecer em curtos ou grandes espaços de tempo (Oakland, 2003).

De uma maneira sucinta, podemos dizer que capacidade do processo é a capacidade de um sistema constituído pela combinação dos operadores, máquinas, métodos, materiais e sistemas de medição conseguir produzir um produto final que consistentemente está conforme com as especificações do produto.

Para se medir a capacidade do processo, presume-se que a distribuição é normal com as características  $\mu$  (média) e  $\sigma$  (desvio padrão). Assim, para os dados constroem-se limites naturais a 3 sigmas de distância da média (o superior, UNTL e o inferior, LNTL). Como foi referido já na secção 2.3.1, para uma distribuição normal, 99,73% dos valores irão estar dentro destes limites.

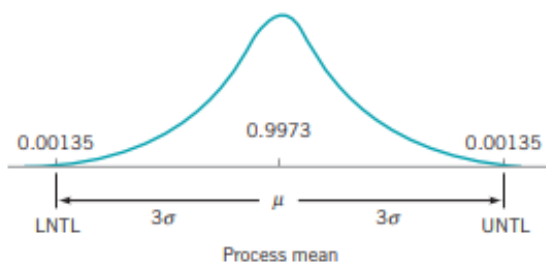


Figura 6 - Distribuição normal (Montgomery, 2009)

Uma forma de medir quantitativamente a capacidade do processo é através do índice de capacidade do processo,  $C_p$ .

$$C_p = \frac{T}{6 \times \sigma} \quad (2.13)$$

Onde:

$T$ , é a diferença entre os limites superior e inferior especificados pelo processo, e  
 $\sigma$ , é o desvio padrão do processo.

Geralmente,  $\sigma$  é desconhecido, por isso usa-se uma estimativa com base na fórmula 2.14:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.14)$$

Onde:

$\bar{R}$ , é a amplitude média das amostras, e

$d_2$ , é uma constante tabelada, também no anexo B.

Este índice ( $C_p$ ) é definido como o rácio entre a banda de especificações do produto e a variabilidade do processo. Mostra o quão provável é a variabilidade do processo estar dentro dos limites das especificações (Montgomery, 2009). Também se torna possível verificar a percentagem de banda de especificação utilizada pelo processo. Esta percentagem é mais explícita em termos de comunicação.

Definindo  $p$  como a percentagem de banda de especificação utilizada pelo processo,

$$p = \left( \frac{1}{C_p} \right) \times 100 \quad (2.15)$$

Onde:

$C_p$ , é o índice de capacidade do processo.

Um valor de  $C_p$  de 1 significa que a variabilidade natural equivale à tolerância de especificação. Um valor inferior a 1 significa que o processo não é capaz de cumprir com as especificações. Valores entre 1 e 1,33 definem um processo capaz, mas banal. Um valor ótimo para este índice é qualquer valor acima de 1,33. Este corresponde a uma percentagem de banda de 75% (Montgomery, 2009).

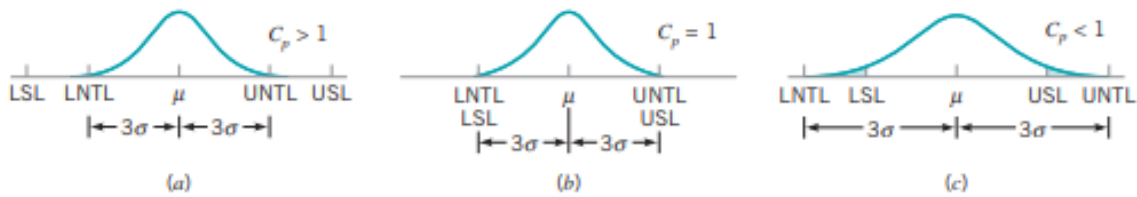


Figura 7 - Distribuições com diferentes capacidades de processo (Montgomery, 2009)

No entanto, o valor de  $C_p$  pode ser enganador. Um processo pode apresentar um valor ótimo e este não estar de acordo com a tolerância exigida pelo processo. Como tal, existe um outro indicador, o  $C_{pk}$ . Este último indicador tem em consideração onde a média do processo se situa em relação aos limites de especificação. É calculado de acordo com a fórmula 16.

$$C_{pk} = \min(C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}, C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}) \quad (2.16)$$

Onde:

$USL$ , é a linha de especificação superior, do inglês *Upper Specification Line*

$C_{pu}$ , é o índice de capacidade do processo apenas para o limite superior de especificação

$C_{pl}$ , é o índice de capacidade do processo apenas para o limite inferior de especificação, e

$\mu$ , é o valor médio para todos os subgrupos.

Geralmente, se  $C_p = C_{pk}$ , então o processo encontra-se centrado nos limites de especificação.

De notar que quando apenas existe uma especificação superior ou inferior, o valor de  $C_p$  e  $C_{pk}$  será sempre igual.

### 2.2.7 Capacidade do sistema de medição

Determinar a capacidade do sistema de medição é muito importante quando a qualidade é algo que se visa melhorar. Quando se utilizam instrumentos de medição, parte da variabilidade da característica medida é proveniente do próprio sistema de medição. Este sistema é composto pelo operador, pelo instrumento em si e pelas condições em que é usado. Outros fatores que podem influenciar o desempenho do sistema de medição são setups ou calibrações.

Um estudo da capacidade do sistema de medição torna-se importante então para se saber qual a percentagem de variabilidade atribuível ao instrumento e determinar se este é eficaz. Existem dois fatores associados a um sistema de medição: a repetibilidade, quando uma mesma característica é medida várias vezes em condições idênticas; e a reprodutibilidade, quando uma mesma característica é medida várias vezes, mas com condições diferentes (Montgomery, 2009).

Para tal efeito, consideremos a seguinte equação:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_p^2 + \sigma_{instrumento}^2 \quad (2.17)$$

Onde:

$\sigma_{total}^2$ , é a variância total da característica medida

$\sigma_p^2$ , é a variância inerente ao produto medido, e

$\sigma_{instrumento}^2$ , é a variância associada ao sistema de medição.

De modo a obter estes valores, registam-se múltiplas medidas de uma mesma característica em produtos semelhantes. Realizam-se cartas de controlo  $\bar{x}$ .R e analisam-se de acordo com o que foi explicado nas seções anteriores.

Com a equação 2.18, semelhante à equação 2.14, é possível estimar a variabilidade do instrumento.

$$\sigma_{instrumento} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.18)$$

Através dos valores obtidos no estudo, podemos estimar a variabilidade total através do desvio padrão.

$$\sigma_{total}^2 = s^2 \quad (2.19)$$

Onde:

$s^2$ , é o desvio padrão da amostra.

Assim, obtemos os valores necessários para estimar a variabilidade inerente ao produto. A capacidade de medição do sistema é muitas vezes demonstrada através do rácio precisão-tolerância (P/T).

$$\frac{P}{T} = \frac{k \times \sigma_{instrumento}}{USL - LSL} \quad (2.20)$$

Onde:



$k$ , é uma constante que pode tomar vários valores. Os mais comuns são  $k=5,15$  ou  $k= 6$ . O primeiro corresponde ao valor limite de desvios padrão entre os limites de intervalos de confiança de 95% que contenham 99% da população normal e o segundo ao número de desvios padrão entre os limites de tolerância naturais de uma população normal.

Valores de  $P/T < 0,1$  são geralmente aceitáveis para definir o instrumento como capaz a nível da precisão (Montgomery, 2009).

Após o estudo de repetibilidade, também é necessário executar um estudo de reprodutibilidade, para se observar qual a diferença entre valores medidos em diferentes condições, tais como operadores diferentes ou tempos diferentes. Geralmente é realizado a medição das mesmas amostras por vários operadores e realiza-se um estudo de variabilidade entre os subgrupos com recurso a ANOVA.

### 3 Situação inicial

Neste capítulo é feita a descrição do processo produtivo de uma embalagem metálica de aerossóis, dando especial ênfase aos componentes em estudo. Descreve-se também, a zona de trabalho e a situação inicial. O foco do projeto é a qualidade dos componentes, pelo que será dada uma importância maior a tópicos de gestão da qualidade.

#### 3.1 Embalagens Metálicas para Aerossóis

Atualmente existem diversas soluções para a comercialização de embalagens para aerossóis. Existem múltiplos tamanhos, geometrias, padrões e materiais que podem ser combinados para dar origem a uma embalagem usada para um aerossol.

Dois grandes tipos de embalagens estão presentes no mercado, as produzidas com materiais ferrosos, como aço (folha de Flandres) e as produzidas com materiais não-ferrosos, como o alumínio.

As embalagens de alumínio são formadas por uma peça única e a sua formação dá-se pela extrusão da matéria-prima no formato desejado ou através de operações de prensagem.

As embalagens com Folha de Flandres podem ser produzidas com 2 ou 3 componentes dependendo da tecnologia disponível para o processo. O mais comum é uma embalagem de 3 componentes, constituída por um corpo, um fundo e uma cúpula. Todos estes componentes provêm do mesmo material e são produzidos com processos semelhantes.

Nas próximas secções é abordado o processo de produção de uma embalagem em folha de Flandres para aerossóis. Este processo é o que se utiliza na Colep.

##### 3.1.1 Matéria-prima

O material que irá alimentar as linhas de produção para os fundos e as cúpulas chega já, depois de várias etapas, de forma a estar apto para se iniciar a produção.

A matéria-prima é recebida do fornecedor sobre a forma de bobinas ou *coils*. Dependendo do fornecedor, pode apresentar vários revestimentos e independentemente disso, apresenta sempre uma largura constante adequada às fases seguintes. O que varia é o processo de corte, realizado já nas instalações da Colep.



Figura 8 - Coil de Folha de Flandres

A primeira etapa é o corte principal ou transversal onde o rolo de aço é cortado em folhas de forma igual (platinas). De seguida, o material é transportado para a litografia, zona da fábrica onde o desenho da embalagem é impresso na folha do corpo. Em geral, apenas as folhas que

irão dar origem ao corpo do aerossol são impressas, mas por vezes, é necessário a impressão de um código ou referência nos componentes superior ou inferior. Após aplicação de vernizes numa etapa seguinte, as folhas são direcionadas para o corte secundário, onde são cortadas em tiras de menor dimensão, de forma a poderem alimentar as linhas de produção. Esta última operação de corte pode ser feita em *scroll* ou em tira reta, dependendo do tipo de componentes a serem realizados. O scroll é um tipo de corte que visa uma menor quantidade de desperdício técnico. O corte é feito com base em estudos pelo departamento técnico da Colep e tem em conta a quantidade e as dimensões dos componentes em cada tira. Através da figura 9, é possível observar pelo esquema representativo que a tira em scroll necessita de menor quantidade de folha para produzir um mesmo número de componentes.

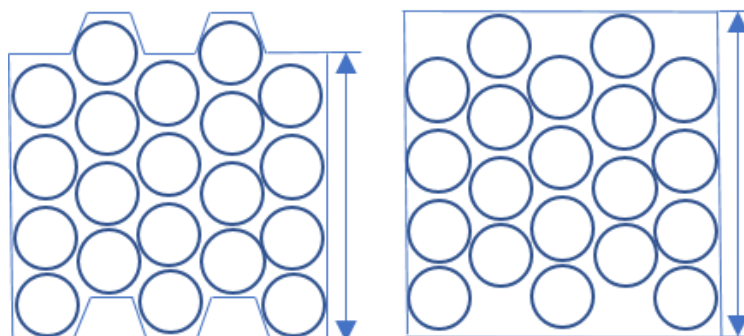


Figura 9 - Quantidade de folha em tira de scroll e tira reta

De seguida, apresentam-se na imagem 10, exemplos de folhas com scroll e de folhas retas.

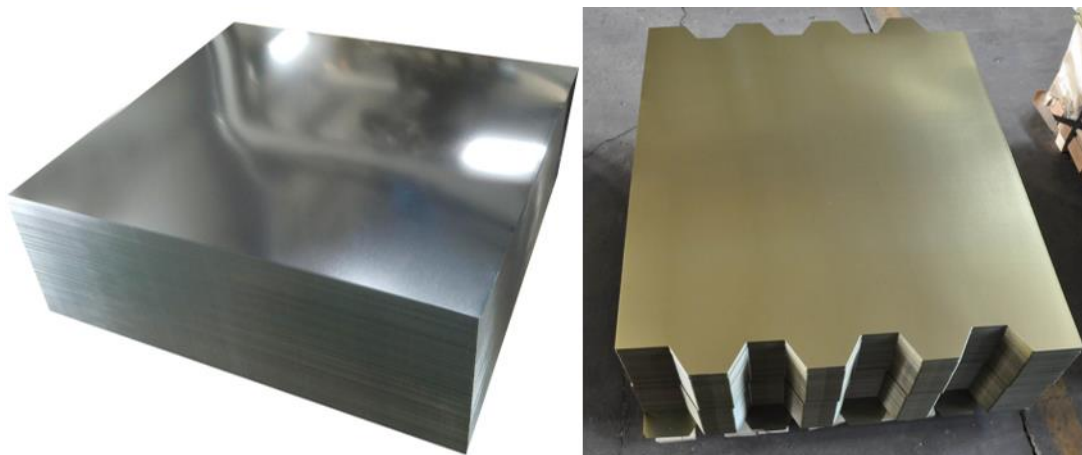


Figura 10 - Folha reta (esquerda) e folha com scroll (direita)

### 3.1.2 Montagem

Após a produção dos componentes necessários para o produto final, realiza-se a montagem destes para dar origem a uma embalagem de aerossol. Este processo é semelhante em todos os produtores de embalagens de folha de Flandres, existindo apenas algumas pequenas variações. O processo a seguir descrito é o que se utiliza na Colep.

O corpo é introduzido no processo como uma folha cortada e impressa que irá ser enrolada na forma cilíndrica pretendida e logo soldada com fio de cobre. Aplica-se um verniz na interseção soldada e uma cola na parte interior. Passa depois por um forno para polimerizar a cola. A próxima fase do processo é, então, juntar os outros dois componentes ao corpo. O primeiro passo é criar uma abertura nas partes superior e inferior do corpo de modo a que se possam executar as operações seguintes. Um exemplo desta abertura está na figura 11.



Figura 11 - Abertura no corpo para facilitar a cravação

O fundo e a cúpula são alinhados com o corpo nas respectivas posições e cravados no corpo. Para embalagens metálicas de aerossóis, faz-se uma cravação dupla para que não haja possibilidade de fugas através destas ligações. Esta cravação é feita em 2 passes em ambos os componentes. Como se pode ver na figura 12, no primeiro passe, o rolo de cravação forma o enrolamento do componente debaixo da beira de cravação do corpo. Na segunda imagem, vemos uma cravação completa, quando o rolo de cravação do segundo passe esmaga todas as espessuras de folha. A cravação depois desta fase diz-se hermética. Após o teste de pressão que está integrado na linha de produção, a embalagem de aerossol vazia está pronta como um produto final.

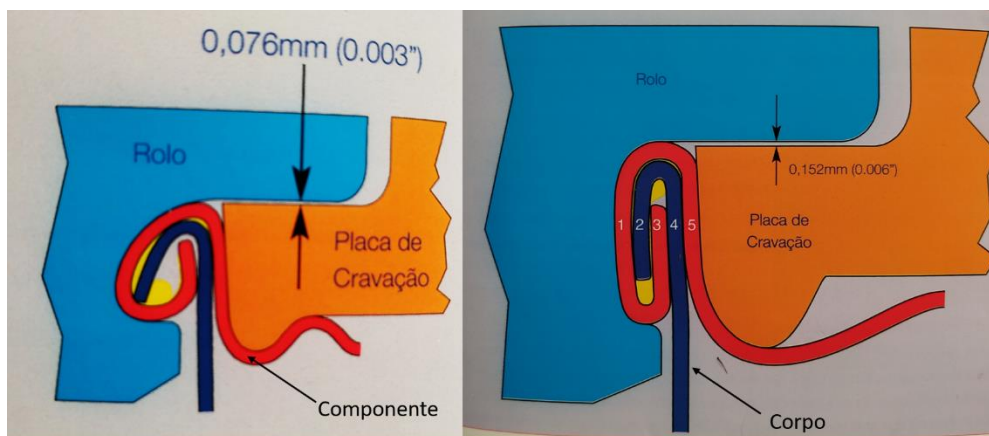


Figura 12 - Cravação dupla. 1º passe à esquerda e 2º passe à direita (Burton, Alan 2005)

### 3.2 Área de trabalho

A área de estampagem dos componentes de fundos e cúpulas é constituída por 12 linhas de produção. Metade produz fundos e a outra metade produz cúpulas. Na imagem 13 apresenta-se um exemplo de cada um destes componentes.

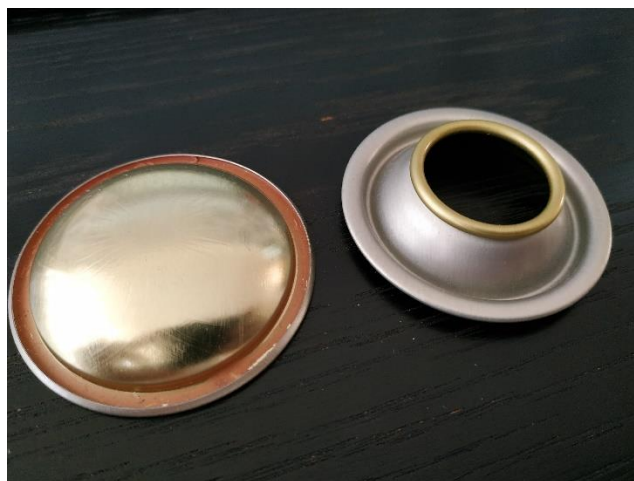


Figura 13 - Exemplo de um fundo e de uma cúpula

O esquema da zona de estampagem está de acordo com o anexo C.

As linhas têm as seguintes características:

Tabela 1 - Linhas da estampagem de aerossóis

Linha	Componente	Diâmetro (mm)	Aerossol	Cadência (componentes/minuto)
37	Cúpulas	45	49	280
62	Cúpulas	48	52	280
90	Cúpulas	52	57	140
52	Cúpulas	41	45	140
38	Cúpulas	60	65	280
67	Cúpulas	48	52	280
69	Fundos	50	52	300
15	Fundos	50	52	300
68	Fundos	54	57	300
55	Fundos	47	49	300
3	Fundos	63	65	300
17	Fundos	43	45	290

As linhas de fundos são todas elas semelhantes em todo o seu processo. Este começa com a alimentação manual de folha pelo operador atribuído à linha. Esta folha é então direcionada até uma prensa dupla que executa todas as operações num componente de uma só vez (dada a baixa complexidade do desenho), cortando e estampando a folha para o seu formato final, extraindo várias unidades de cada folha. A folha é movida pela máquina por um sistema que a fixa de modo a que a prensa retire todos os componentes numa folha, dois de cada vez, até que é expulsa pelo raspador para um contentor de desperdício técnico. Seguidamente, os fundos são separados no orleador para duas vias paralelas e iguais. No orleador é onde o orleado é feito. Apenas há uma separação em duas vias devido à alta cadência da prensa relativamente ao processo seguinte. Os fundos são então dirigidos a um sistema de aplicação da borracha *wakol* onde esta é aplicada através de um bico, uniformemente, em toda a circunferência do componente através de um mandril que permite a rotação do componente. De seguida passa por um sistema ótico

onde são rejeitados os fundos com defeitos na aplicação da borracha. Após este passo, são encaminhados para um forno onde se procede à cura da borracha. Finalizado o processo, o operador perfaz saquetas com fundos para melhor o acondicionamento sempre que haja componentes suficientes para encher uma saqueta.

Apenas existe uma diferença entre a linha 68 e todas as restantes linhas de fundos. A linha 68 é alimentada apenas com folha de tira reta. O tipo de folhas irá ser abordado posteriormente.

As linhas de cúpulas são mais diversas entre si, mas a objetivo é o mesmo: produzir cúpulas. O processo de alimentação é igual ao dos fundos, também feito manualmente pelo operador. As folhas são lubrificadas antes de entrar para a primeira operação onde é executado o primeiro passo através de uma prensa de ferramenta dupla que corta duas cúpulas, em simultâneo, da folha. Depois a cúpula passa por 8 prensas diferentes de modo a obter a forma final desejada. A necessidade de tantos passos de prensagem provem de uma elevada complexidade geométrica, comparativamente aos fundos. As cúpulas são posicionadas de operação em operação através de uma barra de pinças. Estas pinças têm a forma da cúpula em cada estação e apenas movem as cúpulas de uma operação para a outra, não percorrem a operações com as cúpulas. Durante uma destas operações, é feito um corte no interior da cúpula de modo a obter o diâmetro interno, pelo que há uma saída de desperdício técnico que nos fundos não existe. De seguida, tal como nos fundos, é aplicada a borracha de vedação, pelo que a fase final é igual à explicada anteriormente para os fundos.

As linhas 90 e 52 são muito semelhantes entre si e diferem das restantes apenas em duas características. Como a saída do desperdício de folha é mais estreita, a folha tem de ser cortada, pelo que, durante o processo é cortada a meio. A outra diferença é que estas duas linhas apenas possuem uma pista à saída da prensa. Como a sua cadência é menor, não existe necessidade de duas pistas para os processos seguintes.

A linha 67, a máquina mais complexa de todas, tem algumas diferenças também para com as linhas 37, 38 e 62. O alimentador é separado do resto dos processos da linha e aí executa-se a primeira operação, de corte e prensagem. Depois as cúpulas são dirigidas para as seguintes operações através de uma pista dupla.

Como se pode observar pela tabela 1, todas as linhas são de alta cadência pelo que o controlo do processo é muito importante de modo a garantir que os componentes cumpram especificações continuamente e que não se produza muita sucata.

### **3.3 Tipos de revestimentos**

Devido à elevada variedade de produtos e clientes, existem requisitos específicos de cada referência. Uma destas diferenças de requisitos ocorre no revestimento da folha de flandres que alimenta as linhas de produção. Existem várias combinações de revestimentos, que tanto podem ocorrer na face externa do componente, na interior, ou nas duas, e há ainda referências sem qualquer revestimento. Os vários tipos de revestimentos podem ser encontrados no anexo C. O revestimento altera as propriedades da folha e influencia o processo produtivo. O tipo de revestimento pode influenciar na resistência mecânica dos materiais, no entanto, não existem dados sobre este assunto e não será âmbito desta dissertação.

No entanto, qualquer que seja o tipo de revestimento dos componentes, as ferramentas do processo não variam pois, a espessura da folha é sempre constante. (Também não se muda de ferramenta quando se altera de componentes de 15 bar para componentes de 18 bar.) Assim, isso implica que sempre que se altere o revestimento da folha em produção, haja necessidade de se afinar e acertar a máquina para que consiga continuar a produção dentro das especificações. Este setup é feito ‘a olho’, apenas com base na experiência dos trabalhadores. O processo é semelhante para cada revestimento e apenas varia com base na perceção de casos anteriores.

### 3.4 Plano de Inspeções de Qualidade

Todas as linhas têm um plano de inspeções definido para garantir um autocontrole da qualidade dos componentes. Um exemplo de um plano de inspeções está no Anexo D, para os fundos BT 50. Este plano de inspeções funciona para qualquer linha de fundos ou cúpulas. Existem diversos tipos de controlo que têm de ser executados por operadores ou supervisores de forma a que a produção possa continuar. Existe o controlo visual em que se valorizam riscos, sujidades, falta de borracha, deformações visíveis, oxidação ou qualquer outra não-conformidade que possa ser detetada a olho nu. Existem também controlos de deformação e rebentamento, de porosidade e do peso da borracha. O controlo que irá ser abordado nesta dissertação é o controlo dimensional.

#### 3.4.1 Controlo Dimensional dos Fundos

Os valores controlados dimensionalmente para as linhas de fundos são os da altura total, da altura do orleado, da abertura do orleado e do diâmetro exterior do orleado. Estas especificações foram classificadas como críticas, o que faz que eventuais defeitos (que ocorrem se os valores estiverem fora da especificação) sejam qualificados como críticos. Continuando com o exemplo dos fundos BT 50, cujo desenho técnico se encontra no anexo F, mostra-se também a ficha de controlo dimensional presente no anexo G.

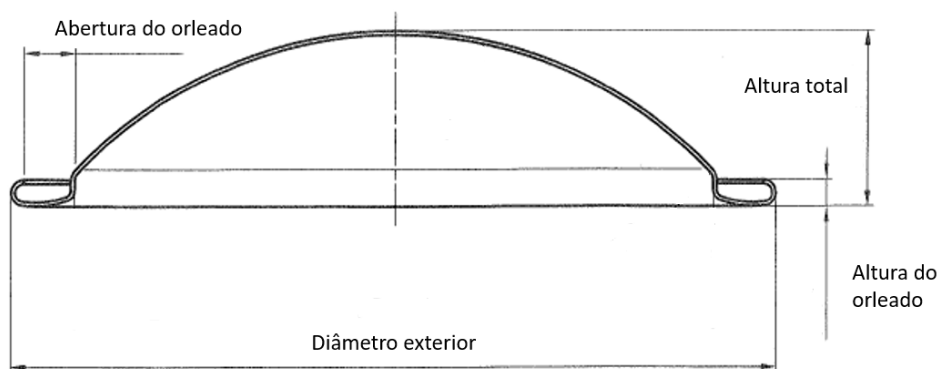


Figura 14 - Medidas relevantes para os fundos

Para se medir o diâmetro exterior, pode-se utilizar um paquímetro ou o calibre H-7624.1.1 (Figura 15, A). Para se medir a altura total, usa-se um graminho ou o calibre H-7624.1.5 (Figura 15, D). Para se medir a altura do orleado, usa-se um paquímetro ou o calibre H-7624.1.4 (Figura 15, C). Para se medir a abertura do orleado, usa-se o paquímetro ou o calibre em forma de perno H-7624.1.6 (Figura 15, B). No entanto, os primeiros dois calibres não estão de momento disponíveis na linha de produção. Estão em lista de espera para serem produzidos pelo departamento de serralharia. O uso de calibres é muito mais expedito e preferido pelos operadores. A não utilização de calibres leva a um maior tempo perdido, a erros ou até mesmo à não execução do teste de controlo.



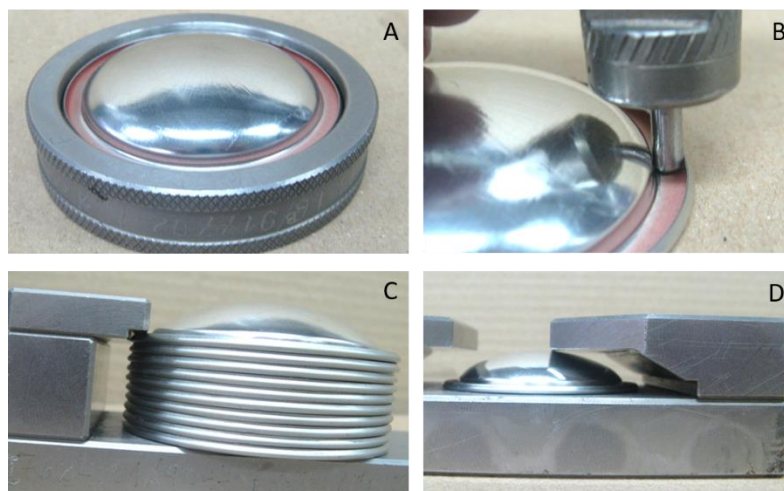


Figura 15 - Calibres para Fundos BT 50

Este controlo dimensional é feito de 4 em 4 horas, no entanto os valores apenas são anotados de forma qualitativa. O resultado deste teste é conforme ou não conforme. Não há um registo dos valores obtidos de forma regular. Uma vez que um calibre não permite identificar uma tendência, isto significa que por exemplo, a linha 69 poderia produzir 72000 peças devido a um desvio no processo antes de o mesmo ser detetado, o que sugere uma elevada confiança na capacidade do processo.

### 3.4.2 Controlo Dimensional das Cúpulas

Os valores controlados dimensionalmente para as linhas de cúpulas são os correspondentes às cotas que se apresentam na figura 16. Estas especificações foram classificadas como críticas, o que faz com que eventuais defeitos (que ocorrem se os valores estiverem fora da especificação) sejam qualificados como críticos. Como exemplo, vejam-se as cúpulas TP 48, cujo desenho técnico se encontra no anexo H, e ficha dimensional semelhante à dos fundos BT 50 já referida na seção anterior, mas para diferentes cotas.

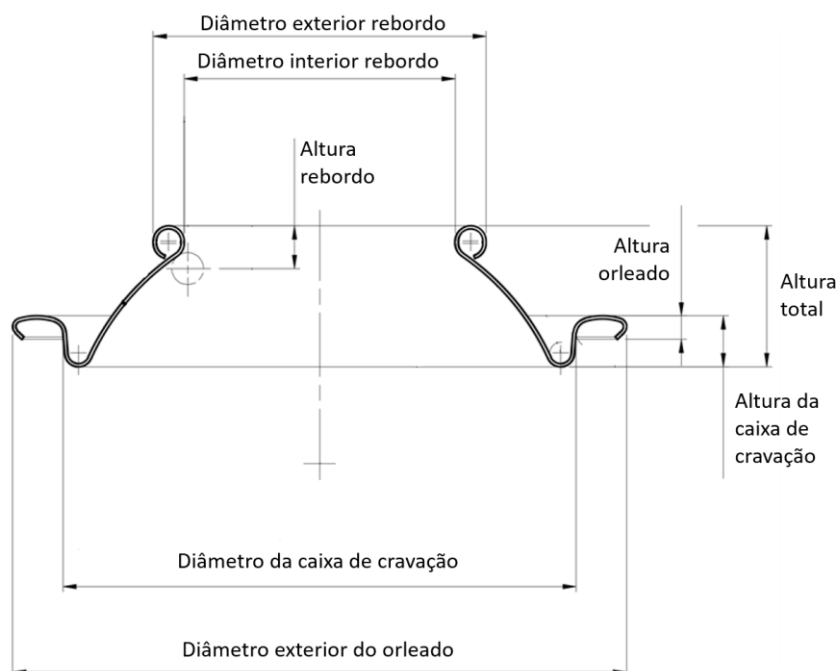


Figura 16 - Medidas relevantes para as cúpulas



O diâmetro exterior do rebordo é controlado através do calibre H-7547(figura 17, A) ou um paquímetro. A altura total é controlada através de um graminho ou do calibre H-7538.3.1(figura 17, B), a altura do rebordo (ponto de contacto) através de um comparador digital (HC COM 053) (figura 17, C) e o diâmetro interior do rebordo com um paquímetro ou com o calibre H-7539(figura 17, D). Para controlar a altura do orleado utiliza-se o calibre H-7538.3.4(figura 17, E) ou um paquímetro e para o diâmetro para a placa de cravação utiliza-se o calibre H-7538.3.2(figura 17, F). Para a abertura do orleado utiliza-se o calibre H-7538.3.5(figura 17, G) e para a altura da caixa de cravação o graminhos (HC COM 035) (figura 17, H) ou um comparador digital ou um graminho. Finalmente, para controlar o diâmetro exterior do orleado, utiliza-se o calibre H-7538.3.3(figura 17, I) ou um paquímetro.

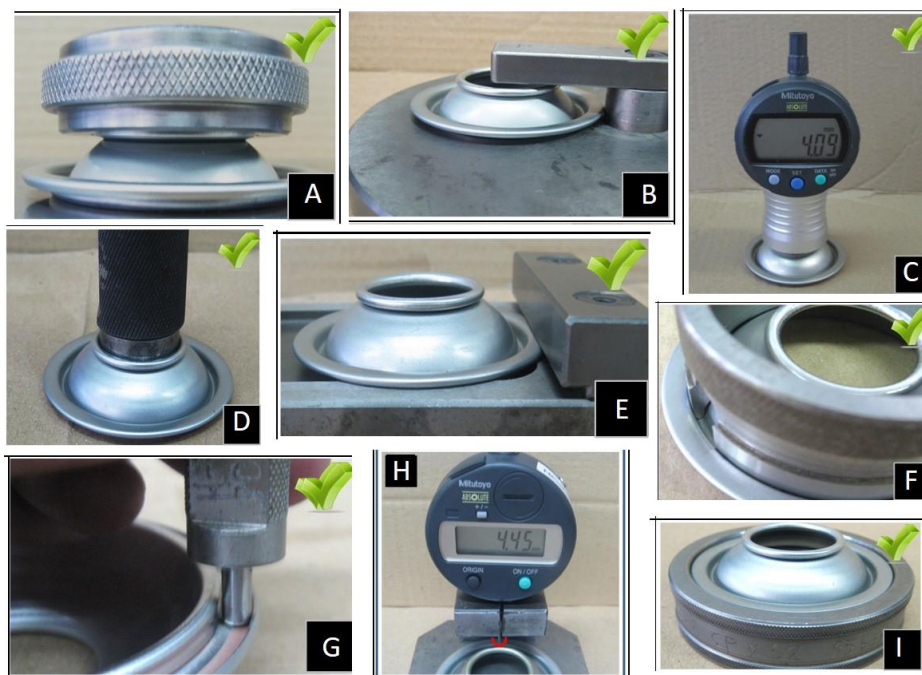


Figura 17 - Calibres para cúpulas TP 48

### 3.5 Definição dos objetivos do projeto

Com a subida dos preços do aço no mercado, a Colep precisou de tomar medidas para preservar a rentabilidade das suas operações. Para isso, procedeu-se à alteração do desenho técnico dos fundos em setembro de 2018. O objetivo foi produzir componentes finais com uma espessura inferior que garantissem a mesma integridade estrutural. Para aguentarem níveis de deformação de 15 ou 18 bar, valores normalizados, alterou-se o formato do raio do fundo para um raio duplo. Isto significa que os fundos passariam a ter uma cavidade com 2 raios diferentes como demonstra a figura 18. Esta medida foi estudada pelo departamento técnico em conjunto com o departamento de desenho.

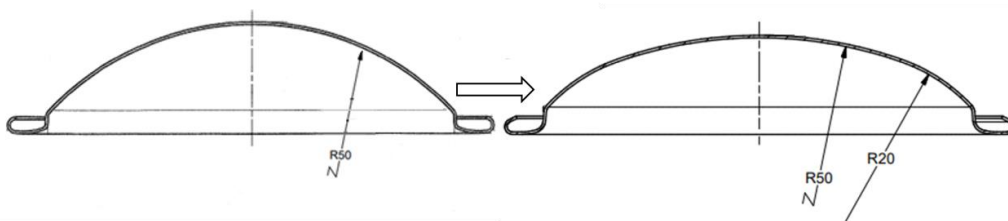


Figura 18 - Mudança para raio duplo

Assim, passar-se-ia a ter um raio de 20 milímetros nas partes mais externas da cavidade. Como tal, todas as cotas do desenho teriam que mudar também, para acompanhar o novo desenho e as limitações das máquinas existentes. A proposta de medidas pelo departamento técnico está presente na tabela 2 e teve como base um estudo estatístico com componentes de vários revestimentos.

Tabela 2 - Proposta de Cotas para o desenho técnico BT 50

Proposta para desenho	Abertura do Orleado	Diâmetro Exterior	Altura do Orleado	Altura Total
	<b>Min. 2,9</b>	<b>58,9±0,15</b>	<b>2,1±0,15</b>	<b>11,55±0,2</b>

No entanto, as cotas e tolerâncias das mesmas não estão totalmente definidas pela recém-adoção deste novo desenho. Há então uma necessidade de estudar quais as que melhor visam o processo.

Em segundo lugar, referindo agora fundos e cúpulas, o que se observa é que, quando se muda o material, que tem um revestimento diferente, as linhas de produção aumentam significativamente o seu número de paragens devido a encravamentos. Quando se muda o revestimento, tendem a acontecer encravamentos nas linhas de produção provocados pelas diferenças dimensionais dos componentes produzidos. Assim, foram analisados os encravamentos encontrados em 2 linhas distintas durante um trimestre. Apenas foram considerados os encravamentos causados por falhas dimensionais. Apresenta-se então nas figuras 19 e 20, os diagramas de Pareto dos encravamentos para as linhas 67 e 69.

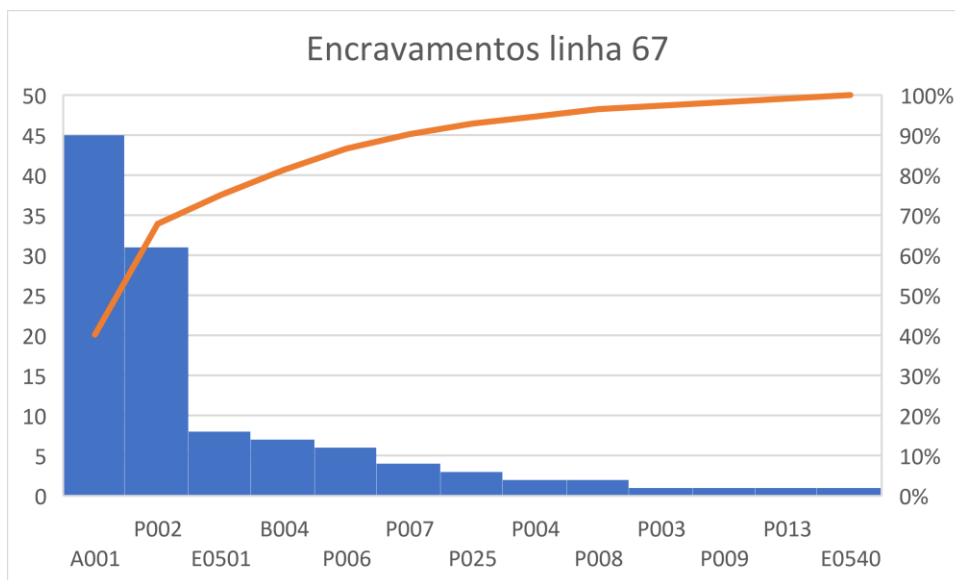


Figura 19 - Encravamentos na linha 67 no 1º trimestre de 2019

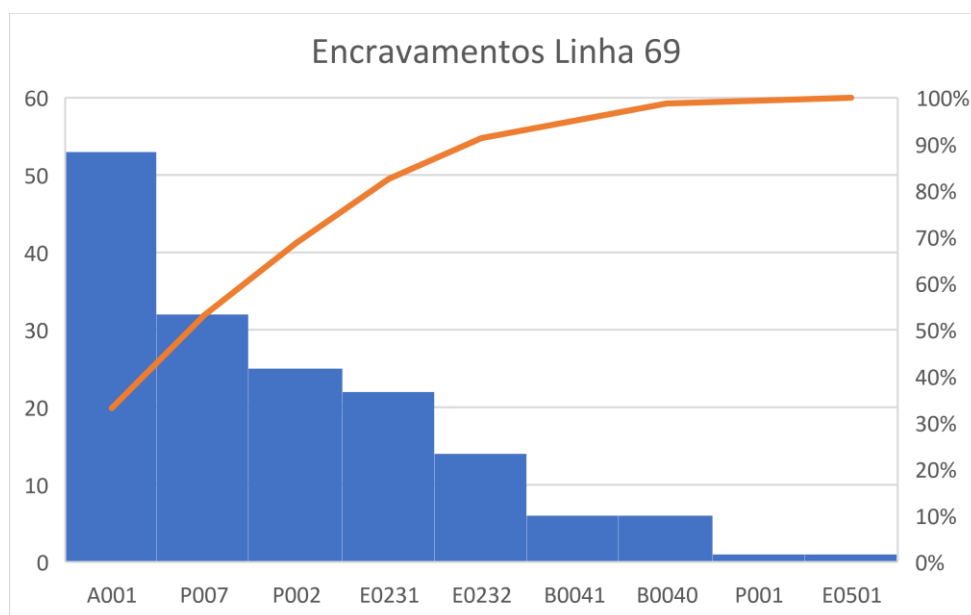


Figura 20 - Encravamentos na linha 69 no 1º trimestre de 2019

Os primeiros 4 códigos em cada linha (correspondentes a 80% das paragens) estão presentes na tabela 3. Os encravamentos no alimentador têm como causa defeitos na matéria-prima. Todos os outros encravamentos referidos na tabela são causados por componentes finais defeituosos.

Tabela 3 - Nomenclatura dos códigos de encravamento relevantes

	Código	Nomenclatura
67	A001	Encravamento no alimentador
	P007	Falhas de corte
	P002	Encravamentos na prensa
	E0231	Encravamento na grelha de entrada do orleador
69	A001	Encravamento no alimentador
	P002	Encravamentos na prensa
	E0501	Encravamentos da Poli no transportador
	B004	Encravamentos na máquina de aplicar borracha

Isto leva a uma perda de tempo de produção na linha, que neste caso, tratando-se de uma indústria de alta cadência, leva à perda de capacidade de produção de numerosos componentes. São necessários bastantes ajustes na linha para que se consigam produzir componentes dentro das especificações. Na tabela 3, destacou-se o tempo perdido correspondente a estes encravamentos<sup>2</sup>, o tempo total de produção da linha e o número de componentes que poderiam ter sido produzidos durante o período de tempo considerado, se as linhas tivessem continuado a produção. Estes dados são correspondentes ao primeiro trimestre de 2019. Os códigos dos encravamentos restantes estão presentes no anexo I.

<sup>2</sup> Tempo perdido desde o encravamento até novo funcionamento normal da linha, com tempo de setup incluído nos casos em que é necessário.

Tabela 4 - Análise de encravamentos nas linhas 67 e 69

	Tempo perdido (minutos)	Tempo total (minutos)	Percentagem de tempo perdido	Componentes perdidos
Linha 67	5490	69450	7.9%	1537200
linha 69	5172	62130	8.3%	1551600

Foi também medido o tempo de setup das linhas de produção quando se muda o tipo de revestimento da matéria-prima. Através de diversas observações do tempo despendido pelo mecânico ou outro trabalhador, a média observada do tempo de setup das linhas foi de 15 minutos aproximadamente. Quando se altera o revestimento, fazem-se várias afinações na linha, até se conseguirem componentes finais com as cotas pretendidas. Em cada uma destas afinações, muita sucata de componentes não conformes é criada. De notar, que muitos destes encravamentos voltam a acontecer durante o funcionamento normal da linha devido a fatores externos.

## 4 Análise do problema

### 4.1 Análise das causas de variabilidade nas linhas 67 e 69

Após os ensaios realizados, procedeu-se a um estudo intrínseco das linhas de produção. Para tal, foram analisadas as possíveis causas de variação possíveis nas linhas que tivessem impacto nas dimensões dos componentes finais. Foi elaborado o digrama de *Ishikawa* presente na figura 21.

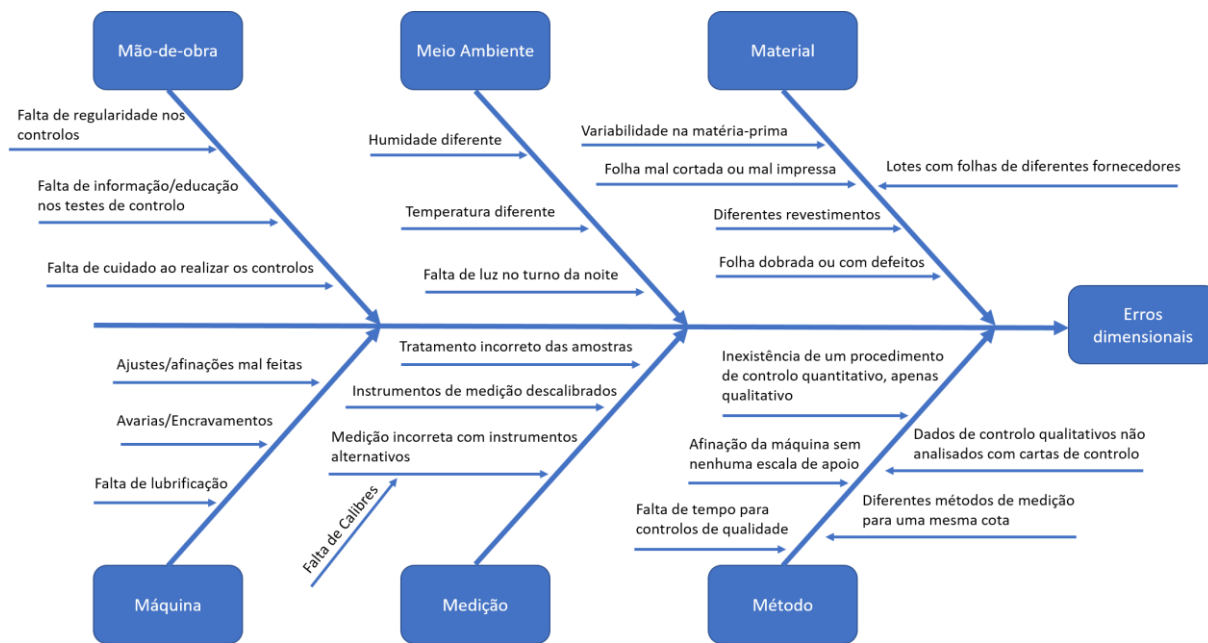


Figura 21 - Diagrama de Ishikawa

Analisando o diagrama mais atentamente, observam-se várias ocorrências que podem estar na origem da variabilidade nos componentes e que se dividem em 6 categorias. Na Mão-de-obra, a falta de tempo que algumas linhas possuem devido à sobrecarga de trabalhos ou a falta de informação/instrução podem conduzir à supressão dos controlos dimensionais. Também pode existir falta de cuidado ao efetuar os controlos. O meio ambiente pode influenciar também a veracidade dos instrumentos de medição e a luz no turno da noite pode dificultar a visibilidade das escalas dos aparelhos de medição. Quanto à matéria-prima que abastece as linhas, é de realçar que é muito difícil que não haja variabilidade nela, seja por originar de diferentes fornecedores ou por ter diferentes revestimentos. Defeitos na matéria-prima também podem levar a erros dimensionais nos componentes finais. Todas as razões da categoria Material, podem levar a encravamentos ou até mesmo a avarias na máquina, que também originam defeitos. Os ajustes/afinações mal-executados são uma das causas mais provável. O facto de se ajustar as máquinas com base na experiência dos trabalhadores sem um método preciso para o fazer é também um contributo. Não existe também um controlo quantitativo, apenas um qualitativo que não permite a visualização de tendências nem padrões. Atentando no controlo qualitativo que existe, os seus dados não são utilizados para análise estatística com base em cartas de controlo para peças defeituosas. Tudo isto pode ser agravado por um tratamento incorreto das amostras ou por instrumentos de medição não calibrados. A medição nos controlos pode também estar errada devido à falta de calibres e recurso a instrumentos de medição alternativos.

### 4.2 Desenho de Experiência 1

O objeto principal de estudo desta dissertação focou-se no impacto que o revestimento da folha de alimentação tem na conformidade geométrica dos fundos e das cúpulas. O tipo de

revestimento tem influência nas características da folha e influencia o processo produtivo. No entanto, esta influência, de material para material nunca foi estudada e por isso, não está quantificada. Houve então, a necessidade de quantificar a influência do material no processo como um todo.

Para se perceber melhor o que acontecia, procedeu-se a um estudo na variabilidade dimensional dos componentes.

Através do ERP SAP, sistema de informação que a Colep utiliza, foi feito um levantamento da produção de embalagens de aerossóis para o ano de 2018, por tipo de produto final. Com o diagrama de Pareto da imagem 22, foi possível concluir que o Aerossol 52 (nomenclatura dada devido ao diâmetro final do produto ser 52 milímetros) é o mais produzido, correspondendo a um total de 40% da produção total anual.

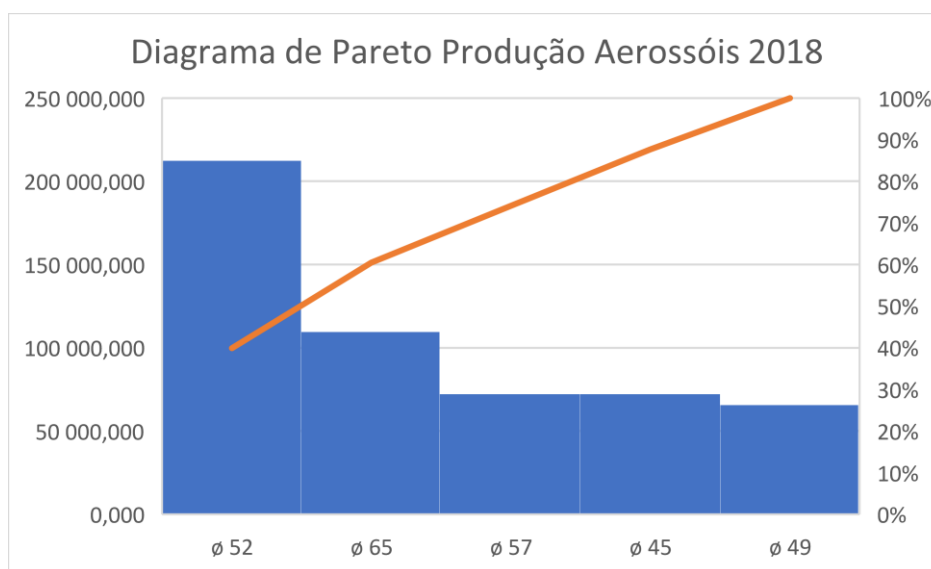


Figura 22 - Diagrama de Pareto para a produção de Aerossóis em 2018

Foram por essa razão escolhidos como objeto de estudo os componentes que formam esta embalagem de aerossol. Os componentes que formam este aerossol são as cúpulas 48 (TP 48), produzidas nas linhas 62 e 67 e os fundos 50 (BT 50), produzidos nas linhas 15 e 69.

Para esta análise, foram escolhidas 2 linhas de produção para testes. A linha 67 de cúpulas, que tinha sido objeto recentemente de uma manutenção do circuito elétrico, foi a linha de cúpulas escolhida. Para os fundos, sendo as 2 linhas exatamente iguais, escolheu-se uma aleatoriamente, sendo a 69 a selecionada.

Mais uma vez, pelo SAP, foi feito um levantamento da tipologia do revestimento de componentes produzidos em todas as linhas no ano de 2018. Atentando nos dados das produções nas linhas 69 e 67, foi possível verificar quais os tipos de revestimento com maior produção. Com os diagramas de Pareto das figuras 23 e 24, foram identificadas as referências com maior volume de produção nestas 2 linhas. Na figura 23, podemos observar que as 6 referências com maior produção na linha 69 correspondem a 95% da produção total. De forma semelhante, para a linha 67, as primeiras 6 referências correspondem a 95%<sup>3</sup> da produção total de cúpulas TP 48. Os nomes das referências e respectivos valores de produção encontram-se na tabela da figura 25.

<sup>3</sup> De atentar que esta percentagem vai contra a utilidade do princípio de Pareto, em que, com 20% dos inputs é possível tratar 80% dos outputs. No entanto, quiseram-se considerar mais revestimentos, para incluir os materiais com PET, os que eram considerados, pelos chefes de produção, mais problemáticos a nível produtivo.

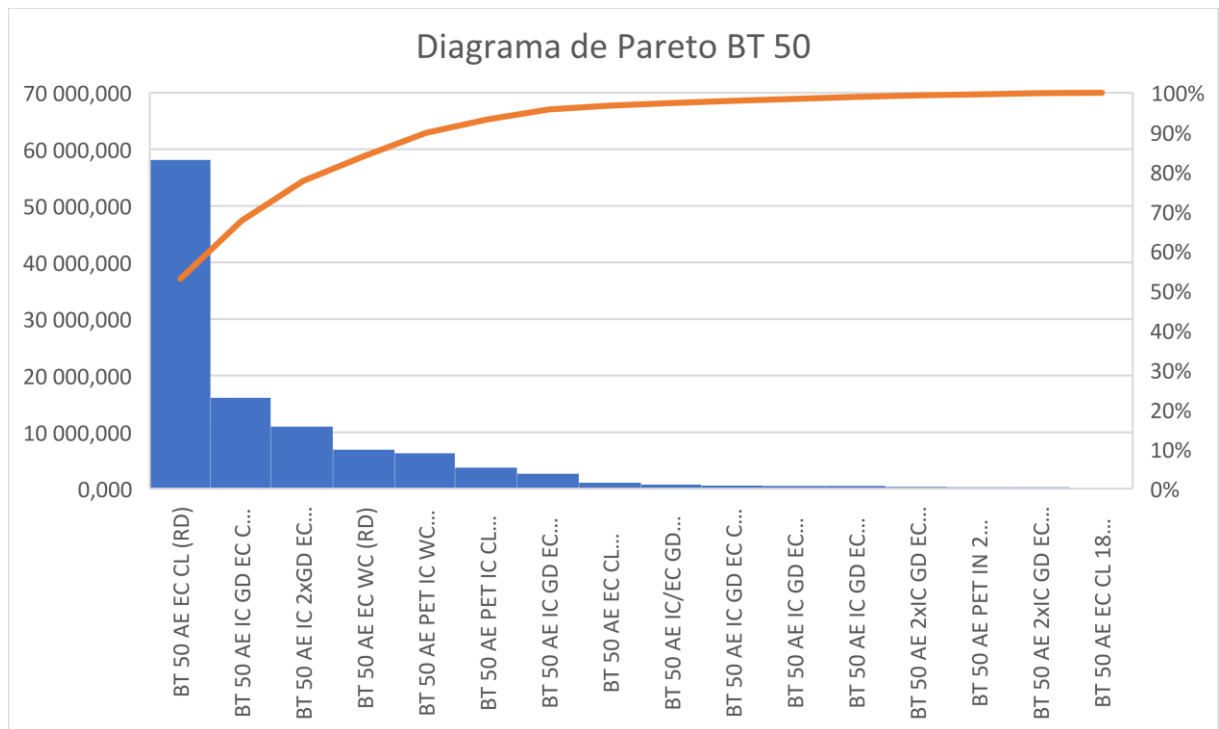


Figura 23 - Diagrama de Pareto da Produção em 2018 para BT 50 por referência

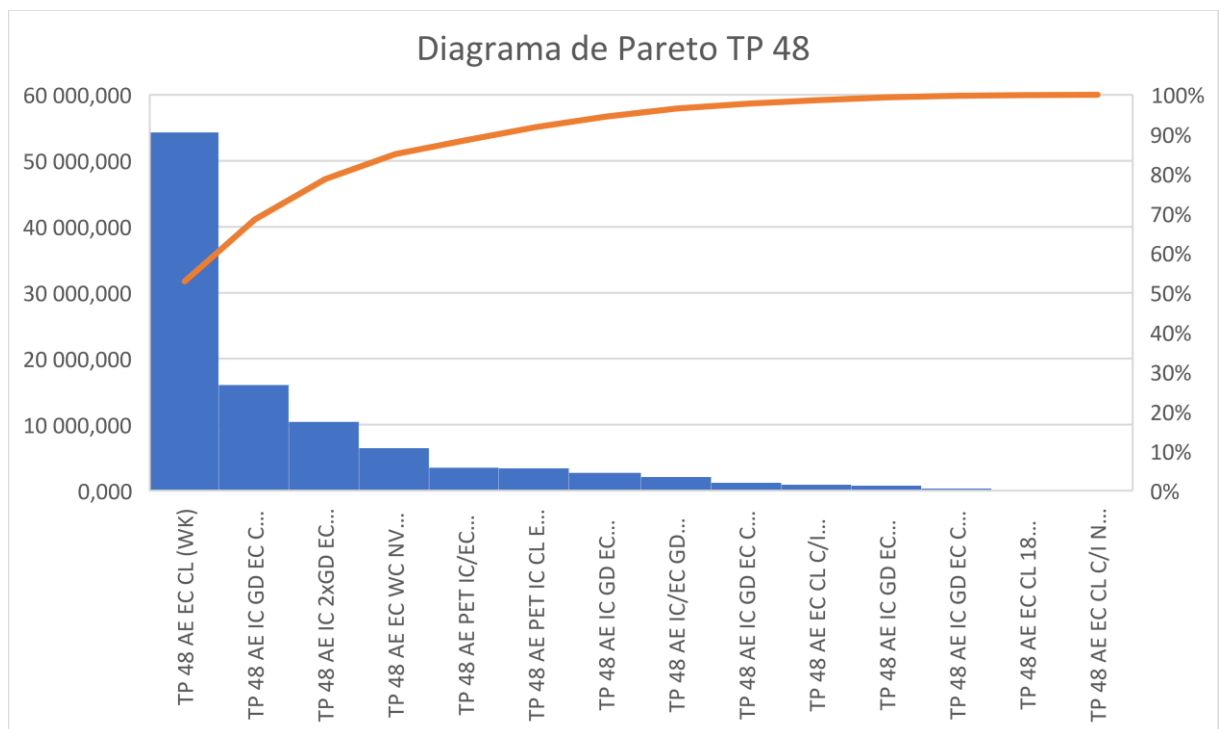


Figura 24 - Diagrama de Pareto da Produção em 2018 para TP 48 por referência



Formato	Material	Descrição	Produções em 2018
BT 50	51-67380	BT 50 AE EC CL (RD)	58,157.623
BT 50	51-67382	BT 50 AE IC GD EC CL (RD)	16,118.132
BT 50	51-67392	BT 50 AE IC 2xGD EC WC 18B LIASA MET(RD)	11,040.024
BT 50	51-67384	BT 50 AE EC WC (RD)	6,918.410
BT 50	51-67407	BT 50 AE PET IC WC PET EC CL (RD)	6,339.900
BT 50	51-67403	BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD)	3,761.725

Formato	Material	Descrição	Produções em 2018
TP 48	51-49397	TP 48 AE EC CL (WK)	54,315.233
TP 48	51-63914	TP 48 AE IC GD EC CL NV (WK)	16,035.346
TP 48	51-63962	TP 48 AE IC 2xGD EC WC 18B LIASA (WK)	10,451.016
TP 48	51-63920	TP 48 AE EC WC NV (WK)	6,485.660
TP 48	51-63908	TP 48 AE PET IC/EC CL (WK)	3,508.469
TP 48	51-63917	TP 48 AE PET IC CL EC WC NV (WK)	3,412.868

Figura 25 - Top 6 revestimentos produzidos em 2018 para BT 50 e TP 48

Para um estudo inicial foram então encomendadas folhas das respectivas referências à litografia para se proceder a uma experimentação.

De notar que, para os revestimentos dos fundos BT 50, a terceira referência (BT 50 AE IC 2xGD EC WC 18B LIASA MET(RD)), presente no quadro da figura 23 não constava em armazém à data, por isso foi descartada do ensaio.

O ensaio das cúpulas TP 48 foi realizado numa fase mais tardia em que havia falta de folha na fábrica, pelo que apenas foram obtidas as referências de folha branca (TP 48 AE EC WC NV (WK)) e incolor (TP 48 AE EC CL (WK)) para o ensaio.

Pretendia-se apenas estudar a variabilidade dimensional causada pelos diferentes tipos de revestimentos. Para isso, eliminaram-se quaisquer outras causas de variabilidade que pudessem influenciar o processo. Assim, as folhas foram todas colocadas sequencialmente no alimentador das linhas em estudo. O objetivo era a produção de fundos e cúpulas sem qualquer alteração, afinação ou ajuste durante todo o ensaio. Mesmo face a eventuais problemas ou encravamentos, foi decidido manter as condições iniciais. Assim, garantir-se-ia que qualquer variação das cotas era apenas causada pelo revestimento da folha e não por setups da linha de produção.

Na linha de fundos, para se obter uma amostragem para análise de dados, optou-se por 10 amostras de tamanho  $N=5$  para cada um dos segmentos da linha<sup>4</sup> e para cada revestimento. O intervalo de amostragem escolhido foi de 20 peças, o que equivale a um tempo de 5 segundos.

Na linha de cúpulas, dada a escassez de material disponível em armazém, escolheu-se uma amostra de  $N=50$  para as duas referências existentes.

Como se obtiveram folhas de mais materiais para a linha dos fundos, focou-se mais nesta linha como objeto de estudo.

Todos os componentes, por serem circulares, apresentam uma certa variabilidade do diâmetro ao longo da sua circunferência. Assim, ao medir uma determinada cota em diferentes orientações radiais do componente, esta irá apresentar pequenas diferenças. Para isso, as amostras, seriam depois colocadas numa grelha de marcações radiais e 6 marcas equidistantes em todos os componentes seriam feitas. Com base nas marcações, todas as cotas seriam medidas em 3 pontos diferentes e consecutivos de cada componente de forma a obter maior precisão.

<sup>4</sup> As linhas de fundos apresentam duas saídas da prensa. O segmento esquerdo e o direito, dada a existência de uma prensa dupla.



Quis-se efetuar 3 medidas para cada cota devido à medição das cotas de diâmetro, em que os valores medidos num ponto e no seu oposto seriam iguais. No entanto, 3 medidas é um valor que apresenta confiança pois abrangem metade do componente.



Figura 26 - Amostras após execução de pontos de medida

Para verificar a viabilidade do sistema de medição foi feito um estudo de capacidade de medição antes de se proceder a medições.

### 4.3 Estudo da capacidade do sistema de medição

De forma a descobrir a variabilidade associada aos instrumentos de medição utilizados nos ensaios foram realizados, em paralelo, estudos de capacidade de medição para cada um dos instrumentos.

Como início, foi feito um teste de repetibilidade. Para isso, foram escolhidos 30 componentes e para cada um, foi medida uma cota 2 vezes, no mesmo ponto, com as mesmas condições de ensaio. Com o paquímetro, foram medidos o diâmetro externo e a abertura do orleado, visto haver 2 encaixes possíveis para medição. Com o comparador digital, mediu-se a altura do rebordo e com o graminho, a altura total.

Com os dados obtidos, que se encontram presentes no anexo J, executaram-se cartas de controlo para amostras com  $n=2$ , para se poder concluir sobre a precisão destes instrumentos.

De atentar, que apenas se considerou a carta de controlo R nos estudos feitos. Apenas esta carta tem de estar controlada para que se possa assumir que o instrumento está a executar medições precisas. Todas as cartas de controlo R estão controladas. Assim, calcularam-se os índices P/T que se apresentam na tabela 5.

Tabela 5 - Valores de P/T para os instrumentos de medição

Instrumento	Paquímetro-lado exterior	Paquímetro-lado interior	Comparador digital	Graminho
P/T	0,088	0,49	0,1	0,093

Os valores de P/T inferiores a 0,1, indicam que os instrumentos são precisos. No entanto, este mesmo valor para o paquímetro quando se mede a abertura do orleado é maior. Através desta análise, é possível observar que o controlo da abertura do orleado com um paquímetro apresenta uma elevada variabilidade, pelo que, os resultados podem correr riscos de apresentarem erros devido à força utilizada na medição nunca ser constante. Se uma força maior for aplicada no paquímetro durante a medição, o componente tem tendência a sofrer uma ligeira deformação e

o valor obtido ser errado. Torna-se muito importante alterar a forma como esta cota é controlada. Como já foi referido, existe um calibre em formato de perno para auxiliar, no entanto, é apenas qualitativo este controlo.

De seguida, realizou-se uma análise para testar a exatidão dos instrumentos de medição. Assim, com 3 amostras, realizou-se um estudo de repetibilidade e reprodutibilidade com 3 operadores diferentes. Cada cota foi medida 3 vezes. Os resultados obtidos para a abertura do orleado medida com o paquímetro pelo lado interior encontram-se na tabela 6 e o estudo na figura 27. Este estudo foi executado com o programa Minitab.

Tabela 6 - Dados para testes de repetibilidade e reprodutibilidade

	Operador 1			Operador 2			Operador 3		
Peça	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
1	2,70	3,05	3,07	3,15	3,15	2,83	3,17	3,12	3,11
2	2,83	3,19	2,77	3,01	2,77	2,79	2,77	2,79	3,06
3	3,26	2,70	3,27	3,07	3,03	2,73	3,04	2,87	2,91

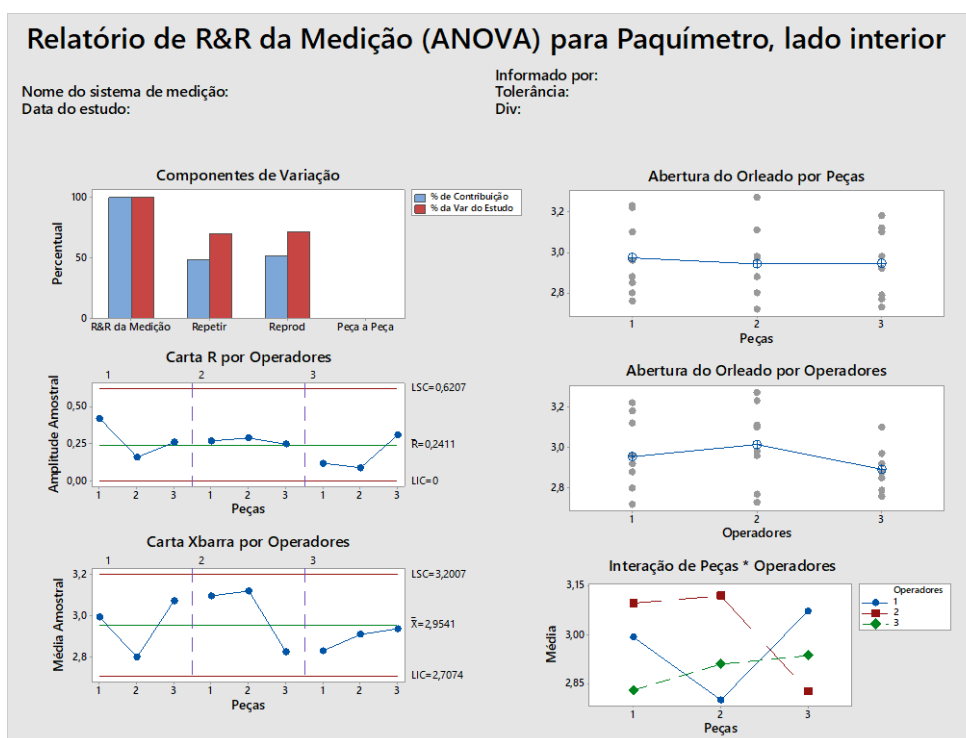


Figura 27 - Estudo R&amp;R para o paquímetro, lado interior

Como se pode observar pelo gráfico superior à esquerda, a reprodutibilidade também afeta a variabilidade das medições da abertura do orleado pelo paquímetro, contribuindo em pouco mais de 50%. Podemos então considerar que este instrumento não é capaz para medir a abertura do orleado.

Para todos os outros instrumentos, a percentagem de variabilidade de peça para peça era maior que a reprodutibilidade e a repetibilidade. A variabilidade total do instrumento era inferior a 10%, valores aceitáveis pelo AIAG (*Automotive Industry Action Group*) para definir um instrumento como sendo capaz. Para os ensaios seguintes, as medições efetuadas com o paquímetro para a abertura do orleado não foram consideradas fiáveis. No entanto, utilizaram-se os dados na mesma pela falta de instrumento alternativo para medição desta cota numa situação inicial.

#### 4.4 Experiência 1 na linha 69

Após a obtenção das folhas, foi executada a experiência.

No ensaio da linha 69 procedeu-se então à colocação das tiras, dos vários materiais, seguidas e deu-se início à produção. Durante o curso do ensaio, ocorreram vários encravamentos para as tiras cujo revestimento incluía PET<sup>5</sup>. Durante estes encravamentos, várias peças com defeitos críticos, que estiveram na origem dos encravamentos, foram rejeitadas. Estas rejeições foram feitas através da máquina de controlo da borracha<sup>6</sup> e pelo controlo visual efetuado pelo operador de linha. Os componentes mais críticos ficaram presos nos canais da linha de produção e foram automaticamente rejeitados. Apenas se consideraram peças finais que passassem pelo processo inteiro.

Depois de concluído o ensaio, as amostras foram todas alvo de medições das cotas CTQ. Para estas medições foram utilizados um paquímetro digital e um graminho.

Os dados obtidos para todas as medições foram anotados em folhas de resultados como a que se apresenta no anexo K. Os dados para um dos revestimentos para o segmento esquerdo encontram-se na tabela do anexo L e as respetivas análises nas imagens após a tabela. Para os outros revestimentos, o processo foi semelhante para os dois segmentos.

Após verificação do tipo de distribuição dos dados e transformação destes (caso não seguissem uma distribuição normal<sup>7</sup>, foi aplicada a transformação de Johnson de forma a obter a veracidade de uma distribuição normal) realizaram-se cartas de controlo e estudou-se a capacidade de processo da linha de produção em cada cota e para cada revestimento. De notar, que neste caso em concreto, as cotas de especificação consideradas para os cálculos não foram as do desenho técnico atual, mas sim as novas especificações propostas pelo departamento técnico, presentes no quadro da tabela 2.

Um exemplo dos resultados obtidos com o *Minitab* (software estatístico) consta na figura 28, em que se apresenta o estudo de capacidade do sistema para o diâmetro exterior dos componentes para o segmento esquerdo para o revestimento referente a 8% da produção anual de fundos no diagrama de pareto da figura 23. Este material foi o primeiro a ser produzido, sendo que a linha de produção estava com um setup adequado para este tipo de revestimento.

---

<sup>5</sup> O PET (polietileno teraftalato) é um polímero termoplástico que surge da reação entre o ácido teraftálico e o etileno glicol. É utilizado em embalagens alimentares e corresponde a 10% da produção anual.

<sup>6</sup> A máquina de controlo da borracha, controla visualmente a correta colocação da borracha. Defeitos dimensionais dos componentes, levam a uma colocação da borracha não uniforme ou defeituosa, sendo que estes são rejeitados.

<sup>7</sup> Aos dados de algumas cotas não seguiam uma distribuição normal, isto pode ser explicado devido a variabilidades dimensionais ou estruturais na matéria-prima ou mesmo possibilidade de haver material de vários fornecedores.

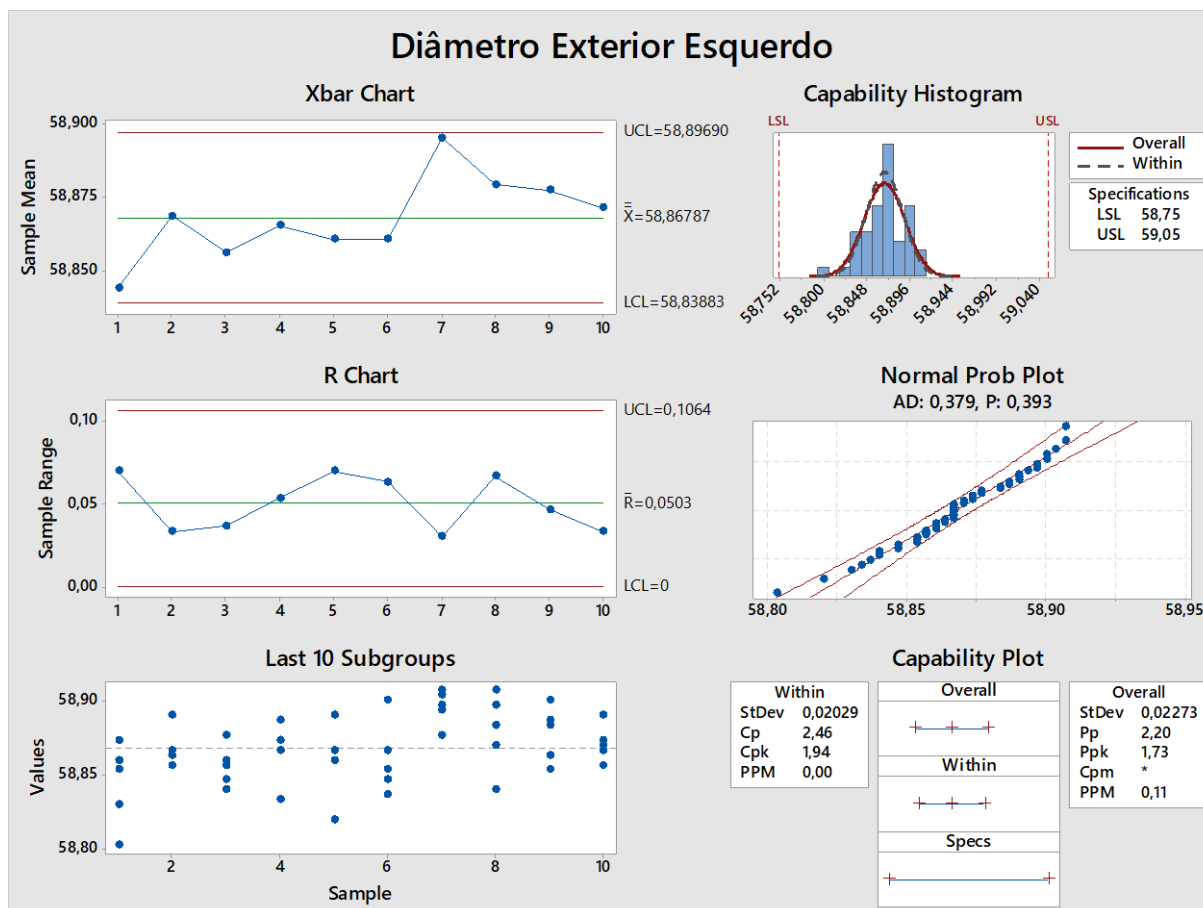


Figura 28 - Estudo de Capacidade

Neste estudo, é possível obter todos os índices úteis para a definição da capacidade do processo, bem como as cartas de controlo. Após uma análise cuidada às cartas de controlo, foi definido se o processo estava controlado em cada segmento, para cada cota e para cada revestimento.

Atentando na figura 28, como exemplo, e analisando a carta de controlo  $\bar{x}.R$ , verifica-se que o processo produtivo é estável em termos de variabilidade. Isto deve-se ao facto da carta de controlo R estar de acordo com as regras referidas no subcapítulo 2.2.5 e não apresentar nenhum padrão ou tendência visível. Assim, é possível passar a atentar na carta de controlo  $\bar{x}$ , que mais uma vez, também se encontra estável, pelo que o processo se encontra controlado estatisticamente. Portanto, o valor da capacidade do processo pode ser considerado como verdadeiro.

A figura também apresenta um histograma com a dispersão dos dados tendo em conta os limites de especificação, e, por baixo, a distribuição dos dados como prova que seguem uma distribuição normal ( $p\text{-value}>0,05$ ).

De notar que o valor da capacidade de processo, quando este não é estável é apenas representativo do valor que o processo poderia alcançar, se este fosse controlado.

Após a cuidada análise de cada caso, foi elaborada a tabela 7 com o resumo das análises das cartas de controlo para as diferentes cotas nos diferentes revestimentos. De notar que os valores para o Cpk não têm grande impacto, pois não foram feitos setups na linha de produção entre materiais diferentes. Mesmo assim, foram utilizados como valores indicativos para analisar a capacidade de cada segmento em comparação ao outro.

Tabela 7 - Resumo dos estudos de capacidade do processo

	BT 50 AE EC WC (RD)						
	Lado Esquerdo			Comparação dos Cpk	Lado Direito		
	Controlado?	Média	Cp   Cpk		Controlado?	Média	Cp   Cpk
Abertura Orleado	Sim	2,95	*   0,46	>	Sim	2,918	*   0,14
Diâmetro Exterior	Sim	58,867	2,46   1,94	<	Sim	58,896	2,7   2,62
Altura Orleado	Sim	2,161	2,97   1,77	<	Sim	2,117	3,98   3,52
Altura Total	Sim	11,712	2,89   0,55	<	Sim	11,597	5,35   4,10

	BT 50 AE EC CL (RD)						
	Lado Esquerdo			Comparação dos Cpk	Lado Direito		
	Controlado?	Média	Cp   Cpk		Controlado?	Média	Cp   Cpk
Abertura Orleado	Sim	2,959	*   0,58	>	Sim	2,924	*   0,19
Diâmetro Exterior	Sim	58,842	2,38   1,46	<	Sim	58,866	2,23   1,72
Altura Orleado	Sim	2,149	4,52   3,05	<	Sim	2,111	4,66   4,31
Altura Total	Sim	11,693	1,26   0,67	<	Sim	11,577	1,53   0,90

	BT 50 AE PET IC WC PET EC CL (RD)						
	Lado Esquerdo			Comparação dos Cpk	Lado Direito		
	Controlado?	Média	Cp   Cpk		Controlado?	Média	Cp   Cpk
Abertura Orleado	Sim	2,97	*   0,55	>	Sim	2,932	*   0,31
Diâmetro Exterior	Sim	58,906	1,89   1,82	<	Sim	58,89	2,61   2,43
Altura Orleado	Sim	2,15	3,78   2,51	<	Sim	2,113	3,06   2,79
Altura Total	Sim	11,776	2,73   -0,36	<	Sim	11,631	2,83   1,69

	BT 50 AE IC GD EC CL (RD)						
	Lado Esquerdo			Comparação dos Cpk	Lado Direito		
	Controlado?	Média	Cp   Cpk		Controlado?	Média	Cp   Cpk
Abertura Orleado	Sim	3,033	*   1,44	>	Sim	2,989	*   0,63
Diâmetro Exterior	Sim	58,794	2,10   0,62	<	Sim	58,828	2,11   1,10
Altura Orleado	Sim	2,131	4,13   3,27	<	Sim	2,1	3,70   3,70
Altura Total	Não	11,714	3,33   0,60	<	Não	11,645	4,47   2,34

	BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD)						
	Lado Esquerdo			Comparação dos Cpk	Lado Direito		
	Controlado?	Média	Cp   Cpk		Controlado?	Média	Cp   Cpk
Abertura Orleado	Sim	3,019	*   0,62	>	Sim	2,959	*   0,32
Diâmetro Exterior	Sim	58,712	2,20   -0,55	<	Sim	58,764	1,99   0,18
Altura Orleado	Sim	2,097	3,06   3,0	>	Sim	2,06	2,50   1,82
Altura Total	Não	11,834	2,42   -1,01	<	Não	11,787	1,28   -0,14

Analisando os valores obtidos, podemos identificar que o valor do Cpk para a altura total do segmento esquerdo para a primeira referência é muito baixo. A prensa estava com setup feito para este material e por isso pode ser considerado. Este valor baixo pode ser devido a um erro no cunho do segmento esquerdo, visto que para o lado direito apresenta um valor normal. Também se pode observar que os valores de Cp são todos superiores a 1,33 exceto 2; a altura

total do lado esquerdo para a terceira referência e a altura total do lado direito para a última referência, significando que a dispersão é demasiada elevada para a altura total nestas referências. Como são bastante próximos do objetivo, uma possível medida seria reduzir a cadência da linha em algumas unidades na produção destes materiais de forma a que os valores de  $C_p$  pudessem aumentar. No entanto, isto diminuiria a produção por turno, pelo que foi rejeitado visto não se tratar de uma diferença elevada para os valores de  $C_p$ .

Podemos observar, em segundo, que existe um padrão nas capacidades de processo entre o segmento esquerdo e o direito. O segmento esquerdo tem maior capacidade de processo na abertura do orleado, mas inferior para todas as outras cotas em todos os revestimentos. (Apenas há uma exceção, assinalada a vermelho no quadro da tabela 7.)

Associando com as médias observadas, em que existe sempre uma variação entre os 2 segmentos, podemos concluir que as duas ferramentas não estão igualmente calibradas. A ferramenta da esquerda produz resultados sempre mais elevados para a altura total, abertura do orleado e altura do orleado e menores para o diâmetro exterior. Qualquer que seja o revestimento, esta conclusão é sempre a mesma.

Para se provar graficamente, foram realizadas ANOVA's (análise de variância) entre os dois segmentos para as diferentes cotas com todos os valores observados. Na figura 29 expõe-se um exemplo das análises realizadas, o gráfico da análise de variância para a abertura do orleado, o qual corrobora o que foi dito antes.

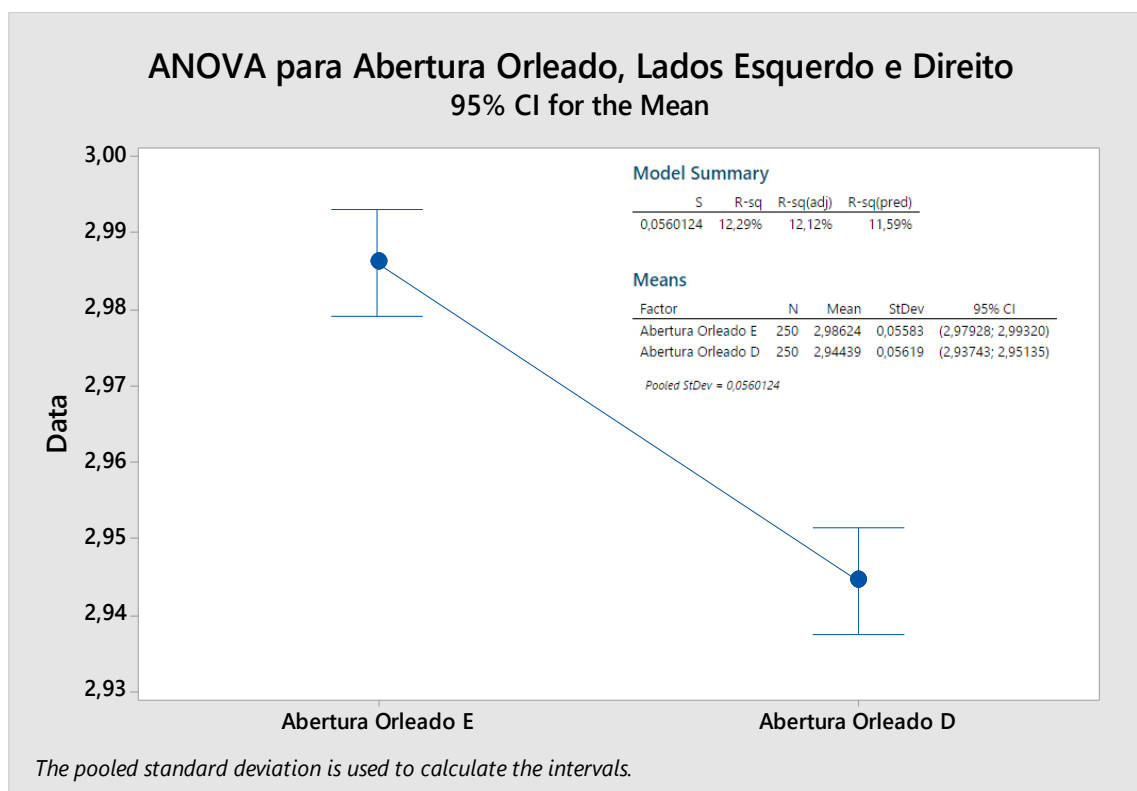


Figura 29 - ANOVA para abertura do Orleado, Lados Esquerdo e Direito

De seguida, procedeu-se a um estudo de relação entre as diferentes cotas analisadas. Como se consideraram os dados referentes a todos os revestimentos, para cada cota, os dados não seguiam distribuições Gaussianas. A razão dos dados não seguirem este tipo de distribuições deve-se ao facto de as amostras serem oriundas de diversos revestimentos e por isso, de diferentes fornecedores. Por se ter considerado todos os materiais, pode-se ter introduzido ruído nas relações obtidas. No entanto, esta análise foi feita assim dada a dimensão da amostra. Então, para se analisar a correlação entre variáveis, utilizou-se a correlação de *Spearman*. (A

correlação de Spearman é um teste não paramétrico usado para medir o grau de associação entre 2 variáveis. Esta correlação não presume nada sobre o tipo de distribuições que ambas as variáveis seguem.). Obtiveram-se os valores para cada relação, bem como o p-value, que estão presentes na tabela 8.

Tabela 8 - Resumo das correlações entre as cotas em estudo

<b>Diâmetro exterior vs</b>	Altura Total	Altura Orleado	Abertura Orleado
Correlação <i>Spearman</i>	-0,509	0,423	-0,367
P-value	<0,001	<0,001	<0,001

<b>Altura Total vs</b>	Altura Orleado	Abertura Orleado
Correlação <i>Spearman</i>	0,005	0,395
P-value	0,912	<0,001

<b>Altura Orleado vs</b>	Abertura Orleado
Correlação <i>Spearman</i>	-0,078
P-value	0,08

Analisando a tabela 8, podemos concluir que o diâmetro exterior apresenta uma correlação com todas as outras cotas. O valor da correlação de Spearman pode variar entre -1 e 1, sendo que, quanto maior for em valor absoluto, mais provável é haver uma relação entre as duas variáveis. Mas esta probabilidade apenas se torna real se o p-value apresentar valores inferiores a 0,05. Assim, a altura total é a cota mais provável de ter uma correlação com o diâmetro exterior. Esta relação é negativa, pelo que, quando uma cota aumenta, a outra diminui. Quando a folha entra na linha, os cortes executados nela são sempre iguais, resultando numa mesma quantidade de material disponível para cada componente. Isto explica o porquê de uma cota diminuir quando a outra aumenta. Esta relação explica também o facto de o diâmetro exterior ser sempre maior no lado direito da linha e a altura total ser sempre menor (médias observáveis na tabela 4).

O gráfico de relação entre a altura total e o diâmetro exterior para todos os dados recolhidos encontra-se na figura 30. Visualmente, é possível confirmar esta relação.

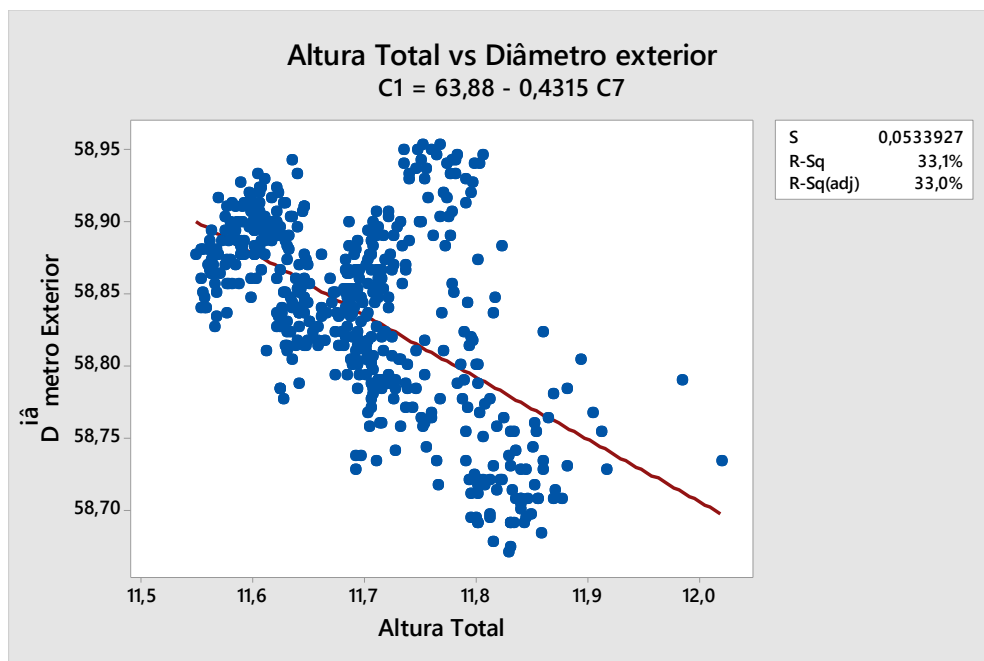


Figura 30 - Gráfico de dispersão entre a Altura Total e o Diâmetro Exterior

O gráfico da relação entre o diâmetro exterior e a altura do orleado encontra-se na figura 31 e podemos observar que, também existe uma relação. A altura do orleado aumenta com o aumento do diâmetro exterior devido à altura total diminuir.

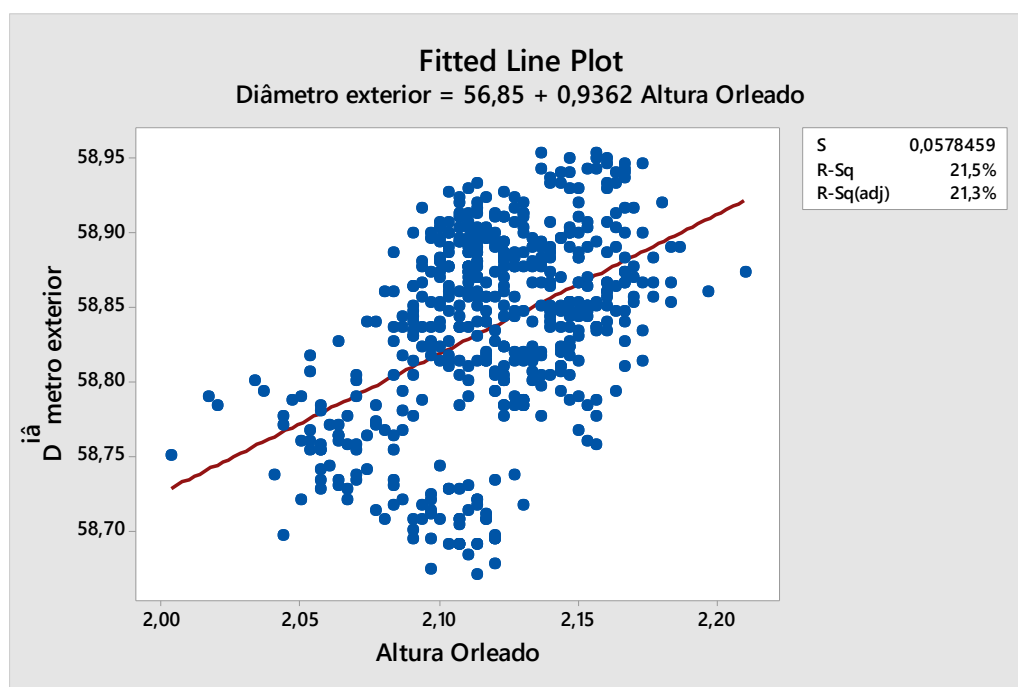


Figura 31 - Gráfico de dispersão entre o Diâmetro Exterior e a Altura do Orleado

Apesar de não haver uma correlação estatística tão significativa através dos dados obtidos, a abertura do orleado também é dependente dos valores que as restantes cotas apresentam. Se a altura total ou o diâmetro exterior forem mais elevados, deixa de haver material para que o componente apresente encurvadura no orleado e por isso a abertura deste será maior. Podemos observar isso através do gráfico de dispersão de dados entre a altura total e a abertura do orleado



na figura 32. Quando a altura total aumenta, a abertura do orleado tem também tendência a aumentar devido à falta de material para que a beira possa fechar.

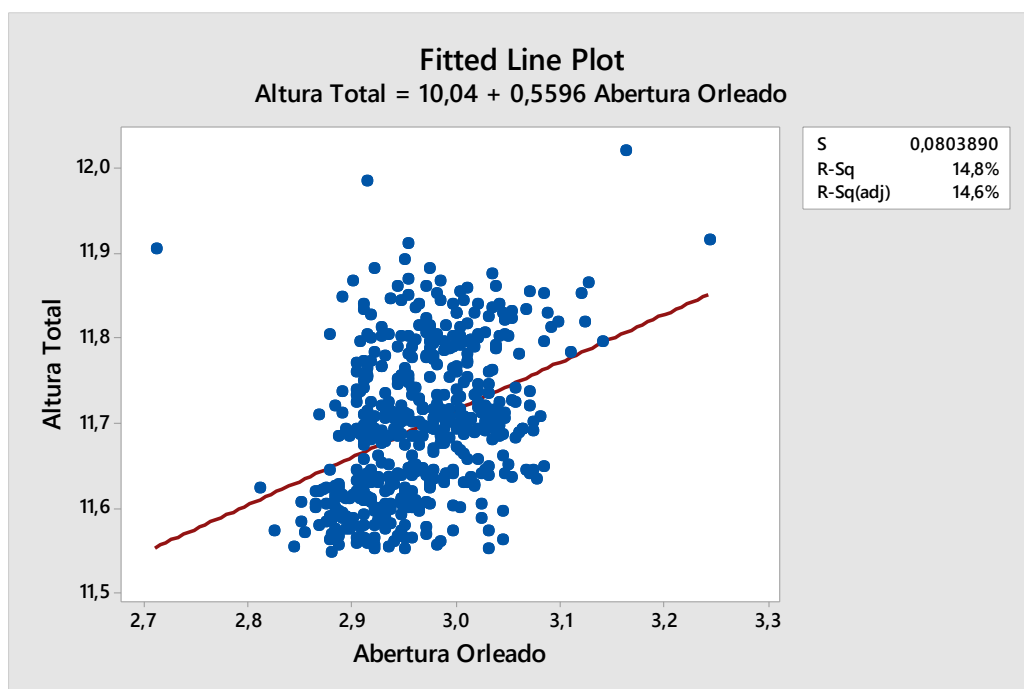


Figura 32 - Gráfico de dispersão entre a Altura Total e a Abertura do Orleado

Todas as outras relações foram consideradas inexistentes devido à grande dispersão de dados apresentada. Os gráficos estão visíveis no anexo M e comprovam esta análise feita com o ensaio na linha 67.

#### 4.5 Ensaio na Linha 67

Para a linha 67, foram colocadas as tiras de folha das 2 referências obtidas. O procedimento foi semelhante ao da linha 69. Depois de concluído o ensaio, as amostras foram todas alvo de medições das cotas CTQ. Os dados e análises para esta linha foram obtidos de forma semelhante à linha 69. Para estas medições foram utilizados um paquímetro digital, um graminho e um comparador digital. De seguida, realizaram-se cartas de controlo também.

De maneira análoga ao ensaio da linha 69, analisaram-se as cartas de controlo e obteve-se o quadro de resumo presente na tabela 9.

Tabela 9 - Quadro resumo para as cúpulas TP 48

	TP 48 AE EC WC (RD)			TP 48 AE EC CL (RD)		
	Controlado?	Média	Cp   Cpk	Controlado?	Média	Cp   Cpk
Diâmetro interior rebordo	Sim	25,323	8,13   1,89	Não	25,327	4,03   1,09
Diâmetro Exterior	Sim	57,473	5,26   3,83	Não	57,468	4,01   2,73
Ponto de contacto	Sim	4,124	11,84   2,08	Não	4,054	5,96   3,82
Altura Total	Não	13,008	9,45   8,68	Não	12,955	6,91   3,81
Altura do orleado	Sim	2,144	3,76   1,65	Não	2,139	3,11   1,22
Altura caixa cravação	Sim	4,811	3,76   3,56	Não	4,772	1,83   1,32

#### 4.6 Variabilidade interna dos fundos

Com os dados obtido na experiência 1, foi também possível observar como as diversas cotas variam ao longo da circunferência do componente. Com 3 medições em pontos distintos do

componente, foi conseguido verificar a amplitude para cada cota no próprio componente. Fez-se um quadro com os valores médios das amplitudes para cada cota em cada revestimento (tabela 10). Os resultados para a abertura do orleado não são fiáveis, no entanto, para as outras cotas são. O diâmetro exterior e a altura do orleado apresentam uma elevada variabilidade dentro de cada componente. Isto pode remeter para defeitos nos cunhos da prensa ou então para variabilidade na matéria-prima.

Tabela 10 - Valor médio da amplitude para cada cota dentro de um componente

	Abertura orleado		Diâmetro exterior		Altura Orleado		Altura Total	
	E	D	E	D	E	D	E	D
BT 50 AE EC WC (RD)	0,08	0,08	0,04	0,05	0,03	0,05	0,01	0,01
BT 50 AE EC CL (RD)	0,09	0,08	0,06	0,06	0,04	0,04	0,01	0,01
BT 50 AE PET IC WC PET EC CL (RD)	0,08	0,09	0,05	0,04	0,04	0,06	0,01	0
BT 50 AE IC GD EC CL (RD)	0,08	0,08	0,06	0,06	0,03	0,06	0,01	0
BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD)	0,11	0,2	0,08	0,08	0,04	0,07	0,01	0

#### 4.7 Estudo da matéria-prima

As tiras, que constituem uma folha, são 7. Em cada uma destas folhas, existem 3 tipos de tiras. O esquema da imagem 33 ajuda a perceber os vários tipos.

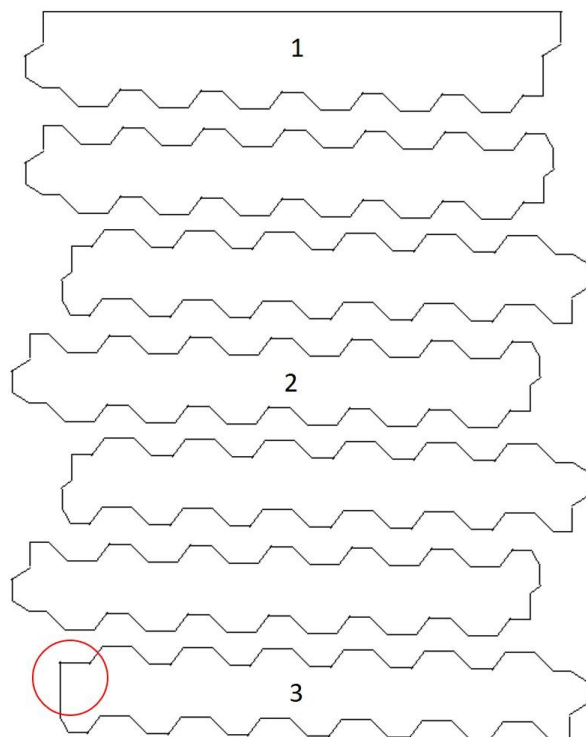


Figura 33 - Esquema representativo de uma folha cortada em tiras

Como se pode observar pelo esquema representativo da figura 33, a tira 1 é a que apresenta uma maior área, seguida da tira 3 que apresenta uma parte extra no canto inferior esquerdo, assinalada na figura. A tira 2 (5 tiras do meio) é a menor em termos de área. Após pesagens das tiras de 5 folhas, cujos resultados estão na tabela 11, obtiveram-se as médias presentes na tabela 12.

Tabela 11 - Pesos de tiras de diferentes folhas

(pesos em gramas)	Tira 1	Tira 2					Tira 3
	1	2	3	4	5	6	7
Folha 1	245,3	237	235,29	236,85	236,25	234,29	236,11
Folha 2	244,97	234,62	234,8	236,45	238,42	237,9	233,72
Folha 3	242,06	234,88	234,52	238,13	236,74	237,03	234,02
Folha 4	242,28	237,26	234,7	237,36	235,77	235,22	233,88
Folha 5	242,17	234,77	238,99	238,31	237,09	238,88	236,03

Tabela 12 - Peso dos vários tipos de tiras

Tira	Peso (g)
1	243.36
2	236.46
3	234.75

Como se pode observar, as tiras do meio (2), menores em área são mais pesadas que a tira da ponta em scroll (3), que possui uma área maior. A ferramenta de corte da folha também poderia apresentar variabilidade nas tiras produzidas, mas para todas as 5 folhas observadas, as tiras 2 possuíam sempre uma área menor que as tiras 3. Inicialmente, não dispunha de um comparador para medir espessuras e por isso utilizou-se um método indireto. Como este método foi indireto, posso considerar como hipótese que, a espessura da folha não é constante em toda a sua largura. Esta variação da espessura pode originar uma variabilidade ao nível dos componentes finais bastante elevada. Esta variação resulta até que as 5 tiras do meio apresentem diferenças entre elas, na sua espessura.

#### 4.8 Análise das linhas 67 e 69 e importância das cotas CTQ

Para a linha 69, existem duas afinações feitas regularmente quando se muda a folha para uma com um revestimento diferente. A primeira alteração é a pressão da prensa que é ajustada de forma a dar mais ou menos pressão. Este ajuste é feito mudando a folga de fecho da ferramenta. Para obter uma pressão máxima colocam-se os pratos superior e inferior da ferramenta, o mais próximo possível, deixando apenas espaço para a folha entre os dois, tal como é apresentado na figura 34. Aumentando a distância Z, entre a prensa e a mesa inferior, a pressão vai diminuindo.



Figura 34 - Prensa da linha 69

A segunda afinação a ser feita é no orleador, zona onde se efetua o orleado dos componentes. O orleador pode ser mais ou menos apertado e funciona como uma passagem em que o componente entra sem orleado e, durante o seu percurso até sair do orleador é feito o orleado. O orleador está dividido em segmentos, onde se faz um aperto progressivo. No primeiro segmento, o componente entra folgado, daí em diante, faz-se um aperto de 0,1 milímetros no primeiro segmento, 0,2 milímetros no segundo até chegar ao último segmento que apresenta já um aperto com o diâmetro final pretendido. Estes passos do processo são feitos com ferramentas circulares com os diâmetros pretendidos.

Para finalizar, existem outros ajustes menos relevantes, que são feitos na barra de lingotes que move a folha (apenas é ajustado quando há uma detecção de falhas) e na pressão das molas do cunho da prensa que tem impacto no alisamento do componente.

Referindo agora a importância das cotas em análise, é de realçar o seu papel no processo de montagem do aerossol posteriormente. A abertura do orleado não tem influência na cravação, mas é muito importante por permitir o encaixe com o corpo. Se for demasiado pequena, o processo não consegue ser continuado. Se, pelo contrário, a abertura do orleado é demasiado grande, no processo de estampagem, a borracha, após ser aplicada não fica contida no sítio levando a irregularidades visuais. O diâmetro exterior é uma das cotas mais importantes a nível da alimentação do processo de montagem. Todos os canais de alimentação entre os vários processos na máquina estão desenhados para um diâmetro nominal com uma tolerância. Se o diâmetro da peça exceder o diâmetro dos canais, a linha de produção encrava. O diâmetro exterior também tem um papel relevante no diâmetro exterior inferior do aerossol finalizado. Esta cota é normalizada e tem de ser sempre menor que o diâmetro do corpo no final do processo, de acordo com as normas FEA. A altura do orleado tem influência no gancho de cravação. Finalmente, a altura total tem uma grande influência na resistência e na deformação do componente. Existe uma norma muito específica, a qual apresenta os valores necessários legais para a pressão que o componente tem de aguentar sem sofrer deformação.

Também através da tabela 4 podemos tirar algumas conclusões sobre que medidas a tomar quando se mudam estes revestimentos. Com estas medidas, conseguem-se definir alguns padrões. Por exemplo, na passagem da produção de fundos BT 50 AE EC WC (RD) para uma folha BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD), pode-se observar que a altura total aumenta significativamente. De forma a garantir que a cota permaneça semelhante, ter-se-ia que fazer variar a pressão da prensa para que esta garantisse uma altura total constante com o novo material.

Para a linha 67, também existem afinações a fazer quando se muda o revestimento da folha. A prensa que perfaz a primeira operação é semelhante à dos fundos, logo as afinações da pressão ou das molas do cunho são análogas às da linha 69. O que varia nesta linha são as operações seguintes, onde podem ocorrer vários ajustes. Nas 7 operações seguintes, as cúpulas (após a primeira operação são apelidadas de chapéus devido à sua forma) são movidas por uma barra de pinças entre cada punção. Cada um destes tem uma tarefa diferente e vital para o componente final. Todos os punções são afinados através de anilhas, da colocação ou da remoção destas para garantir uma distância maior ou menor entre o punção e a parte inferior da ferramenta. Na primeira operação desta ferramenta, é onde se faz um aumento da altura total dos chapéus e se garante material suficiente para que, nas próximas operações seja possível efetuar o orleado. Na segunda operação cortam-se as aparas do diâmetro externo inferior. Na operação seguinte, onde se dá forma ao canal para o rebordo, apenas se contabiliza a altura total para se garantir que este punção está afinado. Uma vez conseguida, nunca mais é afinada independentemente do tipo de revestimento. Na quarta operação retira-se a parte superior do componente para dar origem a um furo que será posteriormente convertido na zona onde o atuador de um aerossol está ligado. De seguida, o componente passa por um punção pré enrolamento do orleado onde a altura da caixa de cravação é conseguida e controlada. A penúltima operação é talvez a mais importante, onde um punção de enrolamento dá origem ao rebordo. Assim, a altura total, o

ponto de contacto e o diâmetro interno do rebordo dos componentes finais ficam definidos após esta operação. A última operação é onde se faz o enrolamento da beira e onde se garante a abertura do orleado e a altura do orleado. De notar que, a abertura do orleado não é uma cota cotada nem controlada para as cúpulas. No entanto, tem a mesma importância no processo de montagem que tinha para os fundos. Todas as cotas desempenham um papel importante e muitas delas são normalizadas pela FEA (anexo A). O diâmetro interno do rebordo e o ponto de contacto são muito importantes para se garantir um bom encaixe da válvula atuadora após a montagem. Todas as cotas relacionadas com o orleado vão ter influência na cravação no processo de montagem, pelo que indiretamente influenciam o diâmetro exterior pós-cravação, que é normalizado e crucial para o encaixe das tampas protetoras no produto final. A altura total, tal como nos fundos, é importante, pois garante a resistência à deformação do componente sobre pressões altas.

#### 4.9 Desenho de Experiência 2 na Linha 69

Na linha 69, as afinações possíveis são na pressão da prensa ou no aperto do orleador. Como esta segunda operação é bastante demorada e de extrema dificuldade, não se procedeu a alterações no orleador. Para se testar então como varia a cota da altura total com a variação da pressão da prensa, realizou-se um desenho de experiência.

Colocou-se a prensa com 4 pressões diferentes e para cada uma colocou-se uma tira de material para estudar a influência nas cotas. Cada tira corresponde a 24 componentes, 12 em cada segmento. Esta experiência foi realizada colocando a prensa com a pressão máxima e diminuindo desse ponto para 3 outros espaçados igualmente entre si. Este método denomina-se por *Method of Steepest Descent*.

Com as amostras obtidas, retiraram-se os dados das cotas e realizaram-se gráficos de dispersão. Os dados obtidos para o segmento esquerdo encontram-se no anexo N (os do segmento direito foram omitidos do anexo devido à semelhança entre eles).

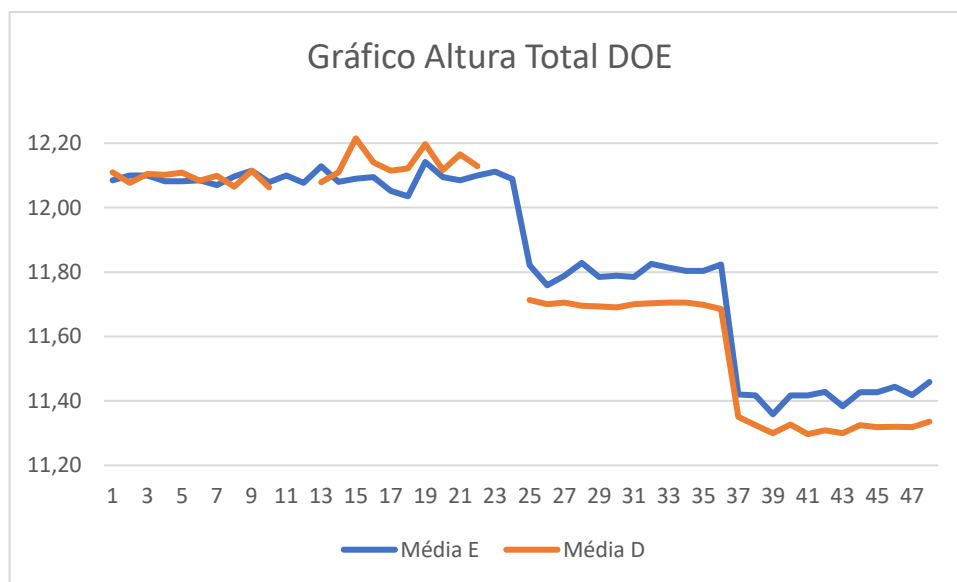


Figura 35 - Gráfico da evolução da altura total dos componentes durante a experiência

Atentando na figura 35, como exemplo de um dos gráficos obtidos nesta análise, é possível observar que durante as primeiras e as segundas 12 amostras, apesar da pressão variar, a altura total permanece na mesma gama de valores. Mas, nas terceira (ponto 24 a 36) e quarta tiras, é possível notar a altura total a diminuir bastante o que leva a concluir que a altura total dos componentes diminui quando a pressão de fecho da prensa também diminui (Os pontos inexistentes no segmento direito devem-se a encravamentos na linha que conduziram a peças

defeituosas e por isso não foram consideradas). Através desta experiência, podemos observar mais uma vez que existe uma diferença significativa entre o segmento esquerdo e direito da linha de produção. Após esta experiência, o cunho defeituoso foi levado para a serralharia para ser afinado. O diagnóstico foi a existência de uma diferença de 0,1 mm nas distâncias entre o cunho e o prato inferior para as duas ferramentas.

#### 4.10 Nova proposta de cotas para os fundos BT 50

Após a primeira experiência na linha 69, em conjunto com outro estudo do departamento técnico da Colep, foram definidas as novas cotas para os fundos BT 50, que passariam a ser oficiais nos documentos da empresa após retificação dos desenhos técnicos por parte do departamento de desenho.

Foi estabelecido pelo departamento responsável pela montagem que, para a cravação ser possível, são necessários pelo menos 2,9 mm de abertura do orleado. Dessa maneira, garante-se um bom encaixe entre o corpo e os fundos antes de passar pelos rolos de cravação. Como ponto de partida então, fixou-se esta cota neste valor.

Se atentarmos nos gráficos das imagens 28 a 30, que demonstram as relações entre as diversas cotas, é possível retirar as equações das funções que melhor se adaptam a cada dispersão. Porque os dados são de várias populações com diferentes revestimentos, é possível generalizar as dependências como se de um material se tratasse. O que foi feito de seguida foi um quadro, presente na tabela 13, com várias opções para a cota altura e os respectivos valores correspondentes para as outras cotas. Como todos os canais de alimentação do processo de montagem estão formatados para os valores do diâmetro exterior e como a altura do orleado é sempre garantida pelo orleador de uma forma constante, ambas foram fixas também nas cotas existentes já. Assim, podemos reparar que existem apenas 3 valores para a altura total que garantam as outras cotas também dentro das especificações. Considerou-se o valor médio de 11,6 milímetros como a cota desejada.

Tabela 13 - Valores das cotas para diversos valores de altura total

Altura total		Diâmetro exterior	Abertura do orleado	Altura do orleado
11,2	=	59,05	2,83	2,35
11,25	=	59,02	2,85	2,33
11,3	=	59,01	2,86	2,30
11,35	=	58,99	2,87	2,28
11,4	=	58,96	2,89	2,26
11,45	=	58,94	2,90	2,23
11,5	=	58,92	2,91	2,21
11,55	=	58,90	2,93	2,19
11,6	=	58,88	2,94	2,17
11,65	=	58,86	2,95	2,14
11,7	=	58,83	2,97	2,12
11,75	=	58,81	2,98	2,10
11,8	=	58,79	2,99	2,07
11,85	=	58,77	3,01	2,05
11,9	=	58,75	3,02	2,03
11,95	=	58,73	3,03	2,00
12	=	58,71	3,05	1,98
12,05	=	58,68	3,06	1,96
12,1	=	58,66	3,07	1,94
12,15	=	58,64	3,08	1,91

Assim, foi reformulado o desenho técnico para os fundos BT 50 de raio duplo com as novas cotas presentes na tabela 14. De notar que a tolerância da altura total de 0,3 mm pode apresentar valores para a altura total que não garantam todas as outras cotas dentro do especificado. No entanto, esta tolerância não pode ser muito baixa porque originaria muitos componentes fora do especificado devido a uma alta restritividade.

Tabela 14 - Proposta de cotas para os fundos BT 50

Altura Total	Abertura do Orleado
$11,6 \pm 0,15$ mm	Min. 2,9 mm

#### 4.11 Desenho de Experiência 3 na linha 69

Após o cunho ter sido corrigido pelo departamento da serralharia, executou-se uma outra experiência para tentar quantificar a variação da altura total dos componentes face à variação da pressão na prensa. Para tal, foi utilizado um instrumento de medição que calcula a distância entre a prensa e a mesa inferior, quando se altera a pressão na prensa. Este instrumento e o seu método de utilização estão presentes no anexo O.

Como a ferramenta tinha acabado de voltar a ser instalada na linha, não estava afinada. Para isso, foram necessários vários ajustes até se atingirem valores para as cotas dentro das especificações. Posteriormente, foram considerados os valores da nova proposta de cotas. Assim, começou-se por colocar folhas no alimentador da linha e produzir componentes para se verificar qual a altura total dos componentes que estavam a ser produzidos. Retirou-se uma amostra de 10 fundos para cada segmento e obteve-se uma média de 12,16 mm para a altura total. Este valor, de 0,56 mm acima do especificado, necessitava de um ajuste.

Como ação seguinte, colocou-se o relógio comparador na prensa e aumentaram-se 0,6 mm na distância entre a prensa e o prato inferior, o que corresponde a uma redução de 0,6 mm no instrumento de medição. Procedeu-se à produção de mais componentes. Retirou-se mais uma amostra de 10 componentes para cada segmento e procedeu-se a medições das mesmas. Isto traduziu-se numa redução da altura total média dos componentes para 11,45 mm. Como esta medida ainda estava fora de especificações, procedeu-se a mais um ajuste. Foi feita uma diminuição na distância entre o prato inferior e a prensa de 0,1 mm, que foi acompanhada de um aumento de 0,1 mm no relógio comprador. Retiraram-se mais 10 componentes para amostragem de cada segmento e concluiu-se que resultou num aumento da altura total média dos componentes para 11,55 mm.

Os dados para esta experiência encontram-se no anexo P.

Através desta experiência, podemos concluir que existe uma relação proporcional entre a altura total dos componentes e a distância z medida através do relógio comparador. Quando se diminui 0,1 mm na distância entre a prensa e o prato inferior, correspondente a um aumento de 0,1 mm no relógio comparador, também se aumenta 0,1 mm na altura total dos componentes finais.

## 5 Propostas de melhoria

### 5.1 Plano de ações para mudança de material

Através dos dados obtidos na tabela 4 e com base nos desenhos de experiência realizados, é possível obter um plano de ações para afinar a prensa face a uma mudança do tipo de folha.

Retirados os valores médios das alturas, pode-se fazer um quadro com a diferença entre cada um destes valores, presente na tabela 15. De notar, que os valores apresentados em milímetros são uma média da diferença para os dois segmentos da prensa. O arredondamento foi feito tendo em conta a escala do relógio comparador (0,01 mm).

Tabela 15 - Diferenças entre as alturas totais dos componentes para os vários revestimentos

	BT 50 AE EC WC (RD)	BT 50 AE EC CL (RD)	BT 50 AE PET IC WC PET EC CL (RD)	BT 50 AE IC GD EC CL (RD)	BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD)
BT 50 AE EC WC (RD)	x	0.02	-0.05	-0.03	-0.16
BT 50 AE EC CL (RD)	-0.02	x	-0.07	-0.04	-0.18
BT 50 AE PET IC WC PET EC CL (RD)	0.05	0.07	x	0.02	-0.11
BT 50 AE IC GD EC CL (RD)	0.03	0.04	-0.02	x	-0.13
BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD)	0.16	0.18	0.11	0.13	x

Foi feita uma comparação relativa de material para material e não encontrado um valor absoluto para cada material para que depois se pudesse criar uma escala na máquina devido à sua natureza. Inicialmente, o objetivo era criar uma escala na ferramenta em que fosse apenas necessário ajustar o aperto da prensa para um valor da escala para cada material. No entanto, a ferramenta é muitas vezes retirada para acertos mecânicos na serralharia. Quando montada novamente, a posição varia, o que iria anular a escala marcada. Assim, foi adotada uma solução relativa de mudança de um material para outro.

A diferença obtida entre o segmento esquerdo e direito para as diferenças de alturas é sempre menor que a nova tolerância para a altura total,  $\pm 0,15$ . Assim, podendo este valor estar um pouco desviado do esperado devido à diferença entre o segmento esquerdo e direito no momento da realização das amostras, o componente terá sempre uma altura total dentro da tolerância se se partir sempre de um valor inicial igual ao valor padrão de 11,6 mm.

Demonstrando a utilidade deste quadro com um exemplo, se estiver em produção BT 50 AE EC WC (RD) e se a folha seguinte for a BT 50 AE PET IC CL PET EC WC (RD), então o ajuste necessário será somar 0,16mm no relógio comparador (De realçar que os valores a colocar no relógio comparador são sempre os inversos aos presentes na tabela 9). Por consequente, a altura total esperada dos componentes será a mesma que estava a ser alcançada quando se produzia a folha que lhe antecedeu. Isto deve-se a um aumento de 0,16 mm na distância z (cota visível na figura 34).

Isto originará um setup da máquina, entre diferentes tipos de revestimentos, bastante inferior, estandardizado e com menor sucata de peças. Sabendo exatamente quais as afinações necessárias, não é mais necessário a realização de peças não conformes entre cada ajuste da máquina até se obter os valores desejados. Isto contribuirá para uma diminuição na sucata produzida em todas as linhas de produção, aumentando assim, o aproveitamento de matéria-prima. Desta forma, foi medido o tempo de setup da máquina com este novo procedimento, o que equivale a um tempo de afinação de 5 minutos, reduzindo-se para um terço do tempo de setup tradicional.



## 5.2 Método de medição da abertura do orleado

Visto o paquímetro não ter capacidade de medição da abertura do orleado e estar relacionado com muitos erros de medição, não é o melhor método de se controlar esta cota para os fundos. O calibre existente está também relacionado com muitos erros de utilização devido à sua forma pouco convencional. Como se pode ver na figura 15-B, o calibre em forma de perno, não possui o formato da abertura do orleado, pelo que pode induzir erros por causa da sua colocação nos componentes para controlo. Assim, propõem-se um novo calibre mais apropriado de acordo com o esquema representativo da figura 36.

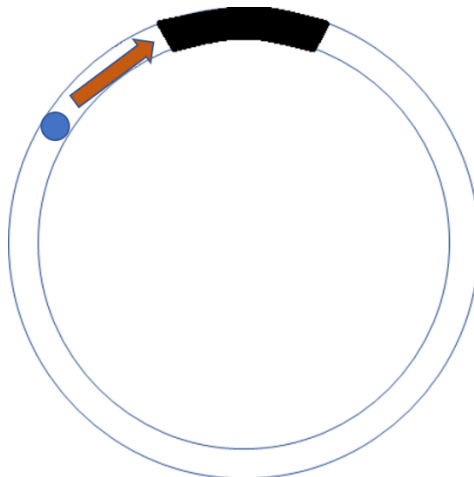


Figura 36 - Esquema representativo da utilização de calibres para controlo da abertura do orleado dos fundos

A azul, o calibre existente no momento e a preto, o formato do calibre que se propõe. Este novo calibre irá permitir um controlo mais exato da abertura do orleado devido à incapacidade de se poder alterar a sua posição dentro do componente. Claro, que uma rotação ao longo do diâmetro seria possível, mas eliminar-se-iam movimentos nas outras direções. Também será difícil utilizar o calibre numa posição que não seja vertical em relação ao componente, o que acontece com o calibre atual. O controlo feito com o calibre atual é executado sem o componente estar apoiado na horizontal, o que garante que, na maioria das vezes, o calibre não está numa posição perpendicular ao componente. Se o colocarmos de lado, o calibre entra na abertura do orleado de forma a parecer que a peça tem as cotas desejadas erroneamente.

Assim, a proposta é que o controlo seja feito através da diferença entre os dois diâmetros presentes na figura 36.

O diâmetro interno do calibre seria o diâmetro da ferramenta que dá origem à caixa de cravação do fundo e que se pode observar no desenho técnico do anexo F, que é de 50,05 milímetros. Esta cota poderia ser exatamente igual no calibre pois a ferramenta garante sempre esta. Assim, este calibre serviria também para se controlar o estado de desgaste da ferramenta caso o calibre não encaixe nos componentes testados. O diâmetro externo do calibre seria a soma do diâmetro interno com a cota desejada para o componente. Assim, adicionando 2,89 milímetros, o diâmetro exterior do calibre seria de 52,94 milímetros.

Como extra, para se adicionar mais uma funcionalidade neste novo calibre, propõe-se a marcação de 2 linhas com os valores máximo e mínimo para a altura do orleado. Esta proposta está explicitada na imagem 37. Assim, controlar-se-iam 2 cotas com o mesmo calibre. Claro que, este controlo extra seria visual, o que poderia também, induzir erros de leitura. No entanto, o controlo dimensional seria feito de maneira mais expedita.

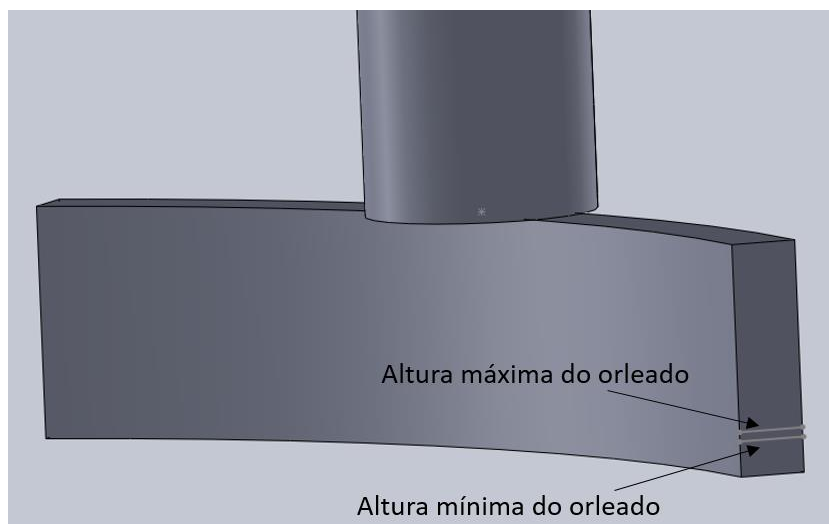


Figura 37 - Proposta de calibre em SolidWorks

Com este novo calibre, é de esperar que a abertura do orleado seja controlada de uma forma mais correta e que exista uma ação mais pronta caso não esteja conforme. Esta proposta foi aceite e o departamento de desenho ficou encarregue de detalhar mais o desenho técnico para depois o departamento de serralharia proceder ao fabrico do calibre.

De notar que esta medida apenas é quantitativa. Para se resolver o problema de falta de capacidade de medição da abertura do orleado por parte do paquímetro seria necessário um outro instrumento. Não foi encontrado um que pudesse servir para quantificar este tipo de medidas. No entanto, existe um aparelho que mede a força que se deve executar no paquímetro para que as medições sejam exatas. Uma solução pode passar pela educação dos operadores de linha para a força que devem executar. No entanto, esta solução não apresenta fiabilidade pois ninguém consegue controlar a sua própria força de maneira igual constantemente, mas reduziria a variabilidade nas medições.

### 5.3 Implementação de cartas de controlo

Tal como foi referido antes, a prática de uso de cartas de controlo não é corrente. Os únicos valores registados são sobre a forma qualitativa. A prática utilizada é a recolha de uma amostra de 5 componentes a cada 4 horas e verificação dimensional. Nas linhas de produção, não existe variabilidade suficiente para que, dentro de cada amostra, haja componentes dentro e fora do especificado. Assim, os quadros diários são preenchidos apenas com 2 opções, conforme ou não-conforme. Sendo esta notação referente à amostra como um todo. Por este motivo, as cartas de controlo de atributos tornar-se-iam despropositadas, visto que a notação adotada nos registos não favorece este tipo de cartas. Apenas existiriam 2 valores possíveis, 0 ou 1. Assim, o mais correto a adotar nesta situação são cartas de controlo de variáveis.

A proposta seria continuar com o mesmo tipo de amostragem que já vinha a ser feita, mas a notação nos quadros diários ser quantitativa. Como os controlos dimensionais tendem a ser feitos por calibres de forma qualitativa, ter-se-iam que realizar também medições com instrumentos apropriados. Apesar de esta ação consumir mais tempo, as vantagens que traria sobrepôr-se-iam.

Através do registo dos dados e depois, da realização de cartas de controlo pelos *cell leaders*<sup>8</sup>, seria possível acompanhar a capacidade do processo e ter atenção a possíveis padrões ou tendências que possam identificar desgaste ou erros nas máquinas.

Para facilitar este processo, visto que a empresa não possui nenhum programa para estudos estatísticos, foi realizada uma folha de Excel em que apenas é necessário introduzir os dados. As cartas de controlo são feitas automaticamente. Os índices de capacidade do processo também são calculados na ferramenta. Um exemplo desta folha para a altura total de uma linha de fundos para o segmento esquerdo, encontra-se na figura 38 A amostragem seria de N=5 a cada 4 horas, tal como no processo atual de controlo. As equações utilizadas estão referenciadas na imagem. Após a obtenção de todos os valores, as cartas de controlo serão apresentadas através de 2 gráficos.

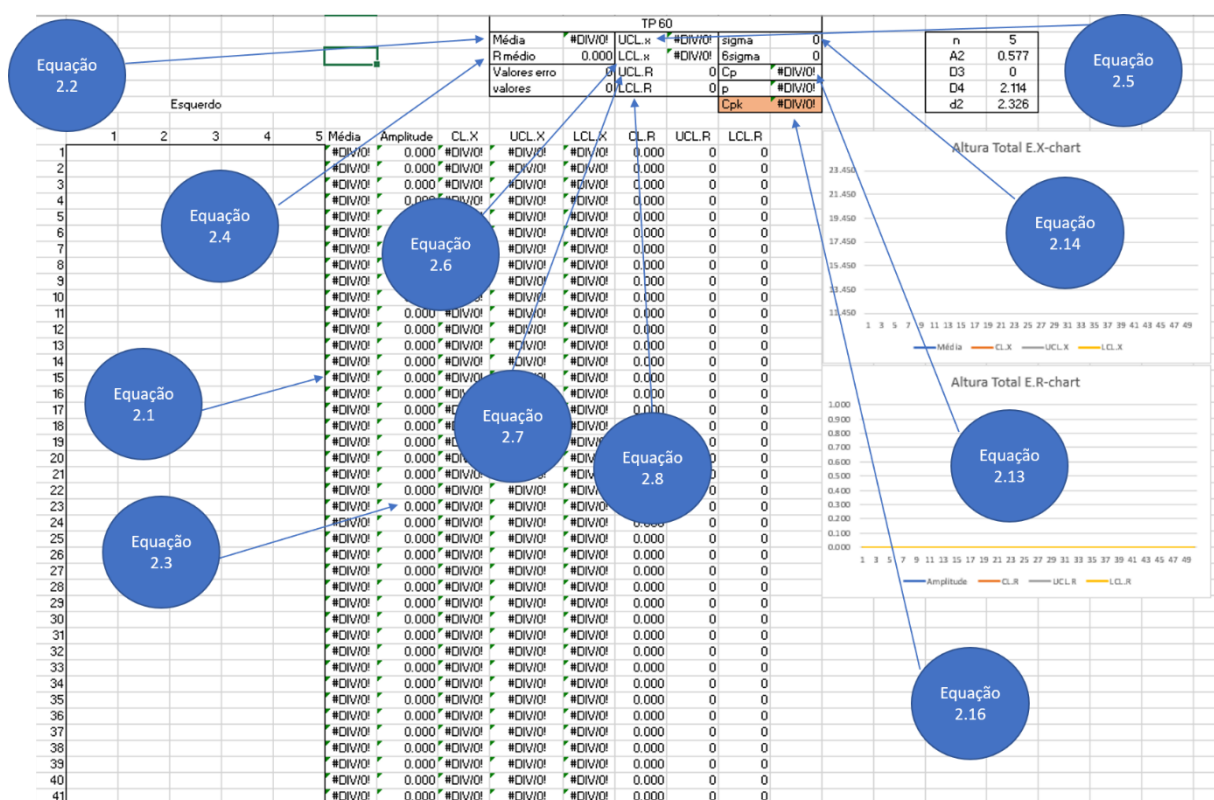


Figura 38 - Ficheiro Excel para execução de cartas de controlo

## 5.4 Outros trabalhos

Durante o período de realização da dissertação, foram também realizados outros trabalhos em paralelo.

Para se poder ganhar um conhecimento mais aprofundado de cada linha e dos processos associados, foi levado a cabo nas primeiras 3 semanas na empresa um levantamento dos tempos de todos os processos nas tarefas do dia-a-dia de trabalho dos operadores. Foram medidos tempos de atividades correntes tais como controlos de qualidade ou execução de saquetas de componentes até atividades extra. Atividades extra são aquelas que não são essenciais para o processo produtivo, mas contribuem para o seu bom funcionamento, tais como limpeza da linha, substituição de operadores que estão em pausa ou em linhas adjacentes, formações de melhoria

<sup>8</sup> Os *cell leaders* são os responsáveis por um conjunto de linhas de produção com características semelhantes. Neste caso, existem 2, um para as linhas de produção de fundos e outro para as linhas de produção de cúpulas.

contínua, entre outras. Os tempos levantados permitiram um conhecimento de todas as tarefas que os operadores perfazem no processo e levou à conclusão da existência de sobrecarga em algumas linhas. Os valores de tempo utilizado por linha por turno estão presentes no anexo Q. Podemos observar que a linha 3 e a linha 38 apenas têm menos de 30 minutos livres por turno. Esta conclusão foi importante pois levantou a hipótese de que alguns operadores não fariam todos os controlos necessários todos por falta de tempo e prioridade dada à produção.

A par com este levantamento inicial, também foi executado um estudo do fluxo de material em cada linha, cujos dados também se encontram no anexo Q. Calculando os pesos da matéria-prima que abastece a linha e dos componentes finais produzidos, foi possível quantificar qual o peso que os operadores moviam no seu turno, estando algumas linhas também com um esforço acima da média. Nas linhas 3, 38 e 68, o peso manuseado por turno é superior a 3000 Kg, um valor que com o tempo pode causar cansaço e perda de eficiência no trabalho ou mesmo lesões. A alimentação é o processo que mais peso acarreta nas funções de um operador. Este estudo teve impacto para considerações de implementação de um alimentador automático para facilitar o trabalho e aliviar o esforço executado pelo operador nesta função.

Também foi feito um acompanhamento do desperdício técnico na zona de trabalhos da dissertação, onde foram aplicadas melhorias e um maior controlo na zona de pesagens. Com um procedimento pouco estandardizado na pesagem de contentores de desperdício técnico, houve a necessidade de se acompanhar este processo devido às incoerências do material pesado com o material calculado teoricamente. A melhoria adotada nesta situação passou pela implementação de blocos de senhas nas linhas (um exemplo de uma senha encontra-se no anexo R), o que permitiu um maior controlo e confiança no lançamento das pesagens nas linhas corretas. Foi também executado um controlo das pesagens de todos os contentores de uma das linhas e foi definido um peso máximo por contentor, para que não existissem dúvidas do conteúdo do mesmo. Assim, qualquer contentor que pesasse mais do que o estabelecido seria objeto de investigação do seu conteúdo para descartar possíveis anomalias. Foi também definido que os contentores teriam de ser pesados individualmente para que houvesse um procedimento mais confiável nas pesagens.

## 6 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Na estampagem de componentes (fundos e cúpulas) de embalagens para aerossóis, numa indústria de alta cadência, existe uma grande variabilidade nos componentes produzidos quando se muda o material de revestimento. Devido à grande quantidade de clientes e produtos desejados, existem várias ofertas de materiais e formatos para os produtos. Assim, existe uma grande variabilidade no processo, devido à introdução de matéria-prima com diferentes propriedades.

O projeto, executado com a metodologia six sigma, recorreu a várias fases do DMAIC. Na fase de definição foram feitas várias análises ao processo, aos componentes e todo o conhecimento empírico para se realizar o projeto. Posteriormente, numa sessão de brainstorming, foram analisadas todas as causas de variabilidade inerentes à linha de produção que pudessem afetar as dimensões dos componentes finais. Através do diagrama de Ishikawa feito, foram enumeradas as possíveis causas de variabilidade. Desta análise, surgiu o interesse em analisar os diferentes tipos de tiras a que uma folha dá origem. Foi colocada como hipótese, a existência de uma grande variabilidade dentro da própria folha devido à diferença de espessuras que esta apresenta. Assim, seria de interesse como próximo trabalho, produzir componentes provenientes de diversas tiras, medindo as suas espessuras e analisar qual o impacto nas cotas finais.

Foi analisada a situação inicial com recurso a diagramas de pareto e observação das linhas de produção. Através do estudo dos componentes e dos respetivos planos de controlo de qualidade, foi estudado também a importância das cotas CTQ, sendo essas os alvos de estudo nas fases posteriores.

No entanto, antes de efetuar qualquer medição foi necessário estudar a capacidade de medição dos instrumentos utilizados nos controlos de qualidade. Devido à falta de calibres nas linhas, instrumentos de medição são utilizados em forma de substituição temporária. Com este estudo, concluiu-se que não era possível controlar através de um paquímetro a abertura do orleado nos fundos, dada a falta de precisão e exatidão no momento da medição. O paquímetro, para medições de abertura do orleado apresentava uma variabilidade associada a repetibilidade e reprodutibilidade de 100%. Também o calibre existente, em forma pouco convencional, era incapaz de garantir um bom controlo dimensional. Propôs-se então, um calibre novo de controlo da abertura através de diâmetros que, por sua vez, incluiria uma função adicional. Visualmente, também seria capaz de controlar a altura do orleado, diminuindo a necessidade de se ter 2 calibres e tornando o controlo mais rápido. Este calibre, iria proporcionar um maior controlo da abertura do orleado e assim, reduzir os encravamentos causados por falhas do diâmetro exterior dos fundos. No entanto, este calibre irá apenas garantir um controlo qualitativo. Para se garantir um controlo quantitativo, seria necessário um outro instrumento. Como não foi encontrado até ao momento, seria interessante também no futuro pensar numa outra solução ou então educar os operadores para a força que devem executar ao medir a abertura do orleado com um paquímetro. Esta última medida não resolveria o problema de capacidade de medição, mas atenuaria.

Numa fase seguinte, foram realizados ensaios nas linhas de produção nos quais se produziram componentes com diversos revestimentos sem se proceder a alterações nas linhas. Face a encravamentos, mantiveram-se as mesmas condições para todo o ensaio. O intuito foi de se perceber como é que o revestimento afetava dimensionalmente o componente final. Foi concluído que, para a linha 69, havia uma diferença entre as ferramentas dos lados esquerdo e direito da linha, estando um dos lados a produzir componentes finais com uma altura total ligeiramente maior que o outro. Todas as outras cotas também tinham uma diferença entre os dois segmentos da prensa. Procedeu-se à retificação da ferramenta, em que um dos cunhos tinha uma cota 0,1 mm acima do outro. Após o acerto, a linha de produção voltou a produzir componentes semelhantes entre o segmento esquerdo e direito, reduzindo a variabilidade na

própria linha. Com o ensaio, foram também calculados os valores de  $C_p$  para as diversas cotas, levando à conclusão que a altura total para dois revestimentos era muito dispersa devido a um valor de  $C_p$  baixo. Foi sugerido como possível solução uma diminuição na cadência da linha, embora isto afete a quantidade de componentes produzida por turno. Mesmo assim, seria interessante como futuro trabalho, testar esta possibilidade para ver se o processo apresenta uma altura total mais centrada para os materiais em questão. Através deste ensaio, foi também possível observar como as cotas aumentavam ou diminuía mudando de revestimento. Para os fundos, foi também feita uma análise da correlação entre as diversas cotas, provando-se que elas são dependentes umas das outras e relacionam-se entre si. Com este estudo, foi possível definir quais as cotas ideais de forma a garantir que todas elas se encontrem dentro do especificado. Com as relações entre as diferentes cotas, foi possível obter equações das suas dependências. No final, foi proposta uma normalização da altura total para  $11,6 \pm 0,15$  mm e a abertura do orleado com um mínimo de 2,9 mm para o desenho final do componente. Este desenho foi adotado na linha de produção, apresentando resultados para todas as cotas sempre dentro do especificado.

Outro trabalho relevante, seria analisar a variabilidade de cada cota ao longo da circunferência de cada componente. Foi feita uma análise em que foi provado que existe uma grande diferença de cada cota ao longo dos componentes. Assim, esta análise tornar-se-ia interessante, para saber se é algo aleatório ou se a variabilidade segue algum padrão. O objetivo ideal seria associar a variabilidade dentro de um componente a defeitos nos cunhos da prensa ou à matéria-prima.

No seguimento do projeto, foram realizados dois desenhos de experiência. Com a análise feita às linhas de produção, foi possível encontrar vários fatores possíveis de serem alteradas na linha. Assim, numa primeira experiência foi estudada a variação das cotas através da variação da distância entre a prensa e a mesa onde a folha passa para ser estampada. Foi concluído que, com o aumento da distância, a altura total dos componentes diminuía. Todas as outras cotas variariam de acordo com a sua relação com a altura total. A segunda experiência foi realizada para tentar quantificar a variação da altura total com a variação da distância entre a prensa e a mesa. Foi concluído que, para cada 0,1 mm que se aumentavam na distância entre a prensa e a mesa inferior, a altura total dos componentes iria diminuir 0,1 mm. Assim, foi possível estabelecer, em conjunto com os dados obtidos no ensaio inicial, um padrão para a altura total dos diferentes revestimentos. Com as diferenças de alturas entre os demais componentes, foi possível executar um plano de ações para o setup da linha quando se muda o revestimento. Este procedimento, agora estandardizado e com bases empíricas diminuiu o tempo de setup de 15 minutos para 5 minutos e reduziu a sucata produzida durante os setups. Onde antes se afinava a máquina através de várias iterações, com inúmeros componentes produzidos não conformes, é seguido agora um processo simples e rápido. Acima de tudo, este processo, que era feito apenas com base na experiência de antigos funcionários, pode agora ser feito por qualquer pessoa com base em conhecimentos empíricos fundamentados. Como futuro trabalho, seria de interesse adotar este plano de ações para outros revestimentos e para outras linhas.

Durante todo este projeto, foram observados o controlo de qualidade e a forma de registo dos dados. Foi notado que o registo que estava a ser feito não era o mais correto para se garantir um acompanhamento da capacidade do processo e cotas finais dos componentes. Para isso, foram propostas algumas mudanças. Um controlo qualitativo passaria a ser quantitativo também e implementar-se-iam cartas de controlo para acompanhar estes dados. Para isso, foi construída uma ferramenta em Excel onde os dados podem ser introduzidos e automaticamente fornece as devidas cartas de controlo e os índices de capacidade do processo. Através destas mudanças, espera-se um melhor controlo da variação das cotas durante o tempo, permitindo identificar padrões e tendências e uma ação mais pronta em ações corretivas na linha de produção. Espera-se assim, que a variabilidade dos componentes diminua dado o acompanhamento diário através da execução e análise das cartas de controlo.

## Referências

- FEA Standards in [www.aerosol.org/publicationsnews/publications/standards/](http://www.aerosol.org/publicationsnews/publications/standards/) consultado a 12/06/19
- Burton, Alan 2005, “Manual de referência da Cravação Dupla para latas alimentares”
- Durakbasa, Numan & Osanna, Herbert 2017, “Quality in Industry”
- Jakowski, Tony 2011, “Integrating Project Management into a Six Sigma System”
- Knowles, Graeme 2011, “Six Sigma”
- Montgomery, Douglas, C. 2009, “Introduction to Statistical Quality Control, Sixth Edition”
- Oakland, John 2003, “Statistical Process Control, Fifth Edition”
- Pyzdek, Thomas & Keller, Paul 2010, “The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels, Third Edition”
- Shewhart, Walter 1986, “Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control”

## ANEXO A: Normas para Aerossóis de 2 e 3 componentes



Standards - English

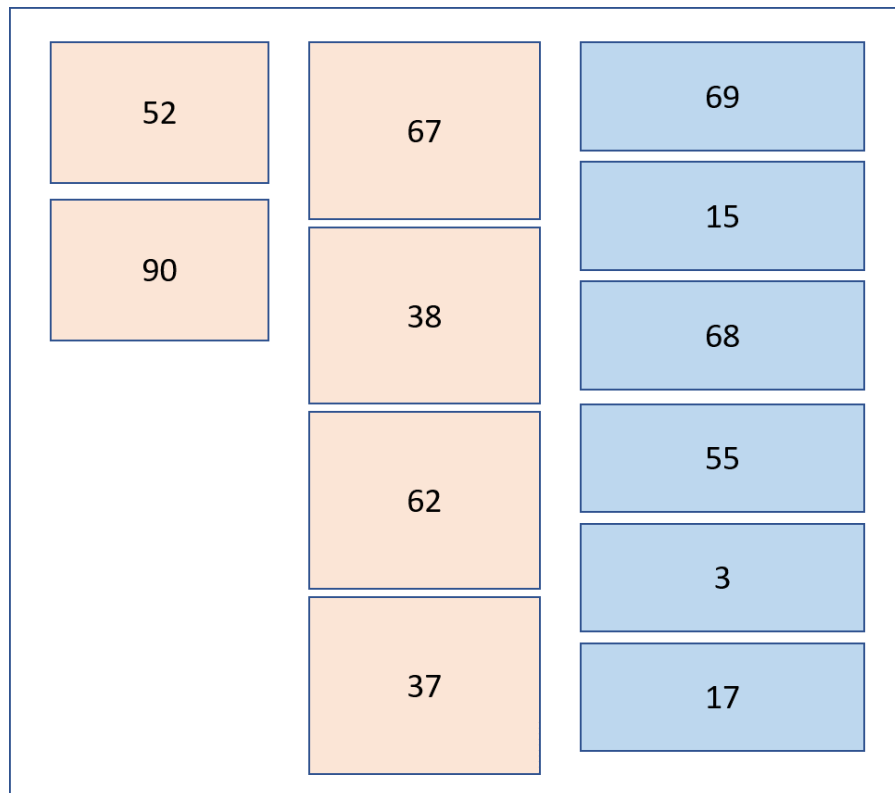
FEA 100	Standardisation – Basic terms, principles, procedure and layout
FEA 101	This standard is replaced by ISO 90/03
FEA 201	This standard is replaced by EN14847
FEA 202	This standard is replaced by EN14848
FEA 203	This standard is replaced by EN15006
FEA 204	This standard is replaced by EN15010
FEA 206	This standard is replaced by EN14854
FEA 210	This standard is replaced by EN14849
FEA 214	This standard is replaced by EN15007
FEA 215	Aluminium aerosol containers – Dimensions of 20 mm opening in monobloc containers
FEA 216	Metal aerosol containers – Dimensions of the bearing surfaces of clinching jaws
FEA 219	Aluminium aerosol containers – Dimensions of monobloc containers with 20 mm opening
FEA 220	This standard is replaced by EN 15008
FEA 222	Metal aerosol containers – Guideline for achieving optimum clinch conditions for containers with 25.4 mm opening
FEA 223	Tinplate aerosol containers – Plastic cover caps for two and three piece necked-in containers conforming with FEA 214
FEA 224	This standard is replaced by EN 15009
FEA 225	Aluminium aerosol containers - Dimensions of rimmed aluminium aerosol containers
FEA 226	Plastic aerosol containers – Guideline for achieving optimum external crimp conditions for containers with 25.4 mm opening
FEA 401	This standard is replaced by EN 14850
FEA 405	Aerosol containers – Definition and method for measuring parallelism
FEA 406	Aerosol containers – Definition and method for measuring the planeless of the bead
FEA 421	Aerosol containers with 25.4 mm opening – Definition and measurement of cover seat height
FEA 422	Filled aerosol packs – Standard fill levels
FEA 602	Filled aerosol packs – Rapid test of the tightness of valve mechanisms and their attachment to containers with 25.4 mm opening
FEA 603	Filled aerosol packs – Guidelines to test long-term preservation and to measure the loss of weight
FEA 604	Filled aerosol packs – Measurement of the internal pressure
FEA 605	Filled aerosol packs – Measurement of the density of aerosol formulations
FEA 606	Filled aerosol packs – Water bath testing – Verification of conformity with legislation
FEA 608	this standard is replaced by point 6.3.3 of the annex to the Aerosol Dispensers Directive 75/324/EEC
FEA 609	this standard is replaced by point 6.3.1 of the annex to the Aerosol Dispensers Directive 75/324/EEC
FEA 610	this standard is replaced by point 6.3.2 of the annex to the Aerosol Dispensers Directive 75/324/EEC
FEA 615	Glass aerosol containers – Drop test
FEA 621	Aerosol containers – Measurement of internal pressure resistance of empty containers without valves
FEA 623	Filled aerosol packs – Simplified method to measure mechanical resistance of metal and plastic containers fitted with valve
FEA 641	Aerosol gaskets – Test for material selection
FEA 642	Aerosol gaskets – Olfactive control test



## ANEXO B: Constantes para cartas de controlo

n	A2	A3	B3	B4	d2	D3	D4
2	1.88	2.66	0.00	3.27	1.13	0.00	3.27
3	1.02	1.95	0.00	2.57	1.69	0.00	2.57
4	0.73	1.63	0.00	2.27	2.06	0.00	2.28
5	0.58	1.43	0.00	2.09	2.33	0.00	2.11
6	0.48	1.29	0.03	1.97	2.53	0.00	2.00
7	0.42	1.18	0.12	1.88	2.70	0.08	1.92
8	0.37	1.10	0.19	1.82	2.85	0.14	1.86
9	0.34	1.03	0.24	1.76	2.97	0.18	1.82
10	0.31	0.98	0.28	1.72	3.08	0.22	1.78
11	0.29	0.93	0.32	1.68	3.17	0.26	1.74
12	0.27	0.89	0.35	1.65	3.26	0.28	1.72
13	0.25	0.85	0.38	1.62	3.34	0.31	1.69
14	0.24	0.82	0.41	1.59	3.41	0.33	1.67
15	0.22	0.79	0.43	1.57	3.47	0.35	1.65
16	0.21	0.76	0.45	1.55	3.53	0.36	1.64
17	0.20	0.74	0.47	1.53	3.59	0.38	1.62
18	0.19	0.72	0.48	1.52	3.64	0.39	1.61
19	0.19	0.70	0.50	1.50	3.69	0.40	1.60
20	0.18	0.68	0.51	1.49	3.74	0.42	1.59

## ANEXO C: Esquema da zona de trabalhos



As linhas de cor laranja produzem cúpulas e as de cor azul fundos. A numeração das linhas tem relação com a ordem de aquisição por parte da fábrica. Sendo a linha 3 a mais antiga e a 90 a mais recente,

## ANEXO D: Tipos de revestimentos

### 1. DESCRIÇÃO DE REVESTIMENTOS

Novas		Actuais
Internal Coating (revestimento interior)	IC	VI, cb int
External Coating (revestimento exterior)	EC	VE, cb ext
Gold (Ouro)	GD	OU, ORO, bz oro, c/b oro, c/bz oro
Pigmented (pigmentado)	PG	PG, PIG
Clear (Incolor)	CL	IN, INC, INCOLORO
White Porcelain (branco porcelana)	WP	BP
White Coat (branco esmalte)	WC	BE, COUCHE
*	*	sb, s/lit.

\* Se não for aplicado envernizamento -- no interior ou no exterior -- nada deve ser referido.

No caso dos materiais revestidos a PET:

Novas	Actuais
PET W/C	PET BR INT/PET IN EXT
PET C/W	PET INT INC/PET BR EXT
PET C/C	PET IN 2 FACES

Imediatamente após a referência PET, a primeira letra refere a coloração do revestimento interior, enquanto a segunda referir-se-á ao exterior.

C – Clear (Incolor), W – White (branco).

Outros exemplos:

	Nova
VI PG VE OU	IC PG EC GD
ICI HC-280 INT/ORO EXT.	IC PG EC GD
sb	
sb COUCHE	EC WC
VE IN	EC CL
BE	EC WC
CB ORO/COUCHE	IC GD EC WC
CBORO EXTERIOR	EC GD
SB/ INCOLORO EXTERIOR	EC CL
SBZ / BZ.INCOLORO EXTERIOR	EC CL

### 2. COMO DESCREVER

Denominação Embalagem	Revestimento Interno	Revestimento Externo	Informação comercial adicional
--------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------------------------

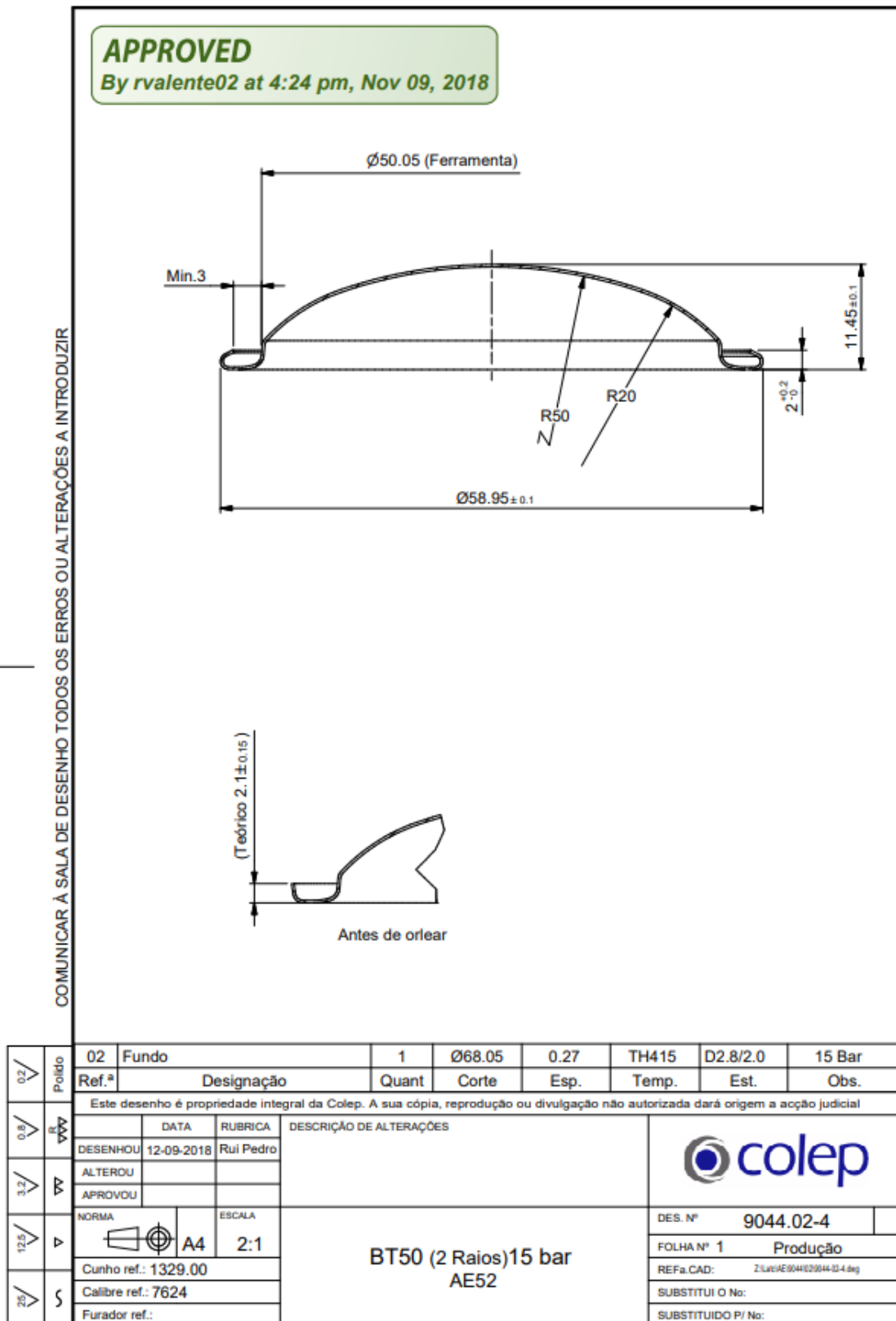
# ANEXO E: Plano de Inspeções dos Fundos BT 50

Ficha de Controlo		Q21.L072.7					
Plano de Inspeção e Ensaio							
Operação	Características a verificar	Quando	Quanto	Quem	Como	Onde Regista	Ficha de Monitorização
I <sub>0</sub>	Rastreabilidade	- Arranque - Retomar ordem interrompida - Mudança de turno - Aviamento adicional	NA	Operador	Q21.I564	No mapa de transporte, conforme a IT	NA
I <sub>1</sub> Controlo das 1 <sup>as</sup> Amostras	Controlo Dimensional	Arranque	NA	Operador	Q21.I145	Q21.M097	De acordo com a Ficha de Controlo respetiva
	Peso de borracha - húmido - seco				Q21.I150	Sistema informático Q21.M097	Q21.L001
	Porosidade (Só para Verniz Interior) Utilizar sulfato de cobre.				Q21.I149	Q21.M097	Q21.L018
	Deformação				Q21.I085	Q21.M051	Q21.L073
	Controlo Visual				Q21.I147	Q21.M097	Q21.L074
I <sub>2</sub> Controlo de Pontos Críticos	Controlo Dimensional	4 / 4 h	5 Amostras (por pista)	Operador	Q21.I145	Q21.M097	De acordo com a Ficha de Controlo respetiva
	Peso de borracha - húmido - seco	2 / 2 h	5 Amostras por máquina		Q21.I150	Sistema informático Q21.M097	Q21.L001
	Porosidade (Só para Verniz Interior)	30 em 30 min * (Sulfato)	5 Amostras (por pista)		Q21.I149	Q21.M097	Q21.L018
		4 em 4 horas (Eletrocondutividade)	16 Amostras (por pista)			Q21.M051	
	Deformação	Por ordem de fabrico e/ou mudança de balote	5 Amostras (por pista)		Q21.I085	Q21.L073	
Controlo Visual	15/15 min* e por ordem de fabrico	5 Amostras (por pista)	Q21.I147	Q21.M097	Q21.L074		
* Analisar no tempo indicado e regista no mapa de produção 1/1 h							
Definição de "Arranque" - Início da Ordem de Fabrico; Retomar Ordem interrompida; Mudança de Turno; Após paragens superiores a 4 horas							
Elaborado por: Ana Martins		Aprovado por: Sofia Martins		Âmbito de Aplicação:			
Data: 17-12-2018 Technical Quality		Data: 28-12-2018 Quality Leader AE		Estampagem Aerossóis - AE2			



Q21.M073.2

1/1

## ANEXO F: Desenho Técnico dos Fundos BT 50



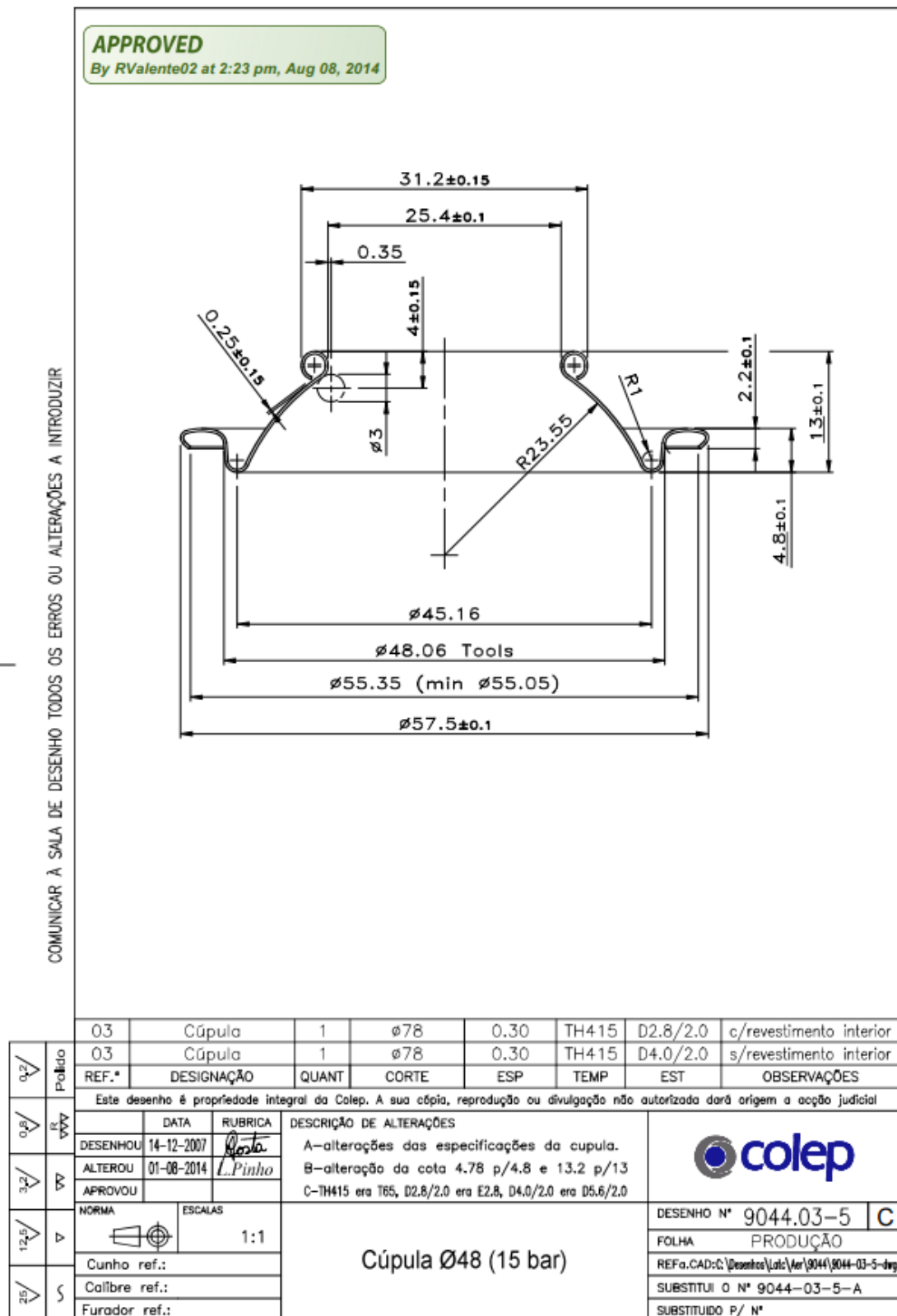
## ANEXO G: Ficha de controlo dimensional dos Fundos BT 50

colep		FICHA DE CONTROLO CONTROLO DIMENSIONAL BT 50 AE 15b/ BT 50 AE 18b DES. 9044.02-4/ 9044.02-5					
ENSAIO	Nº ORDEM	CALIBRE VERIFICADOR	OUTRO MEIO* DE CONTROLO	RESULTADO	DESCRIÇÃO DO RESULTADO	FOTOGRAFIA	TOLERÂNCIAS (mm)
Altura Total	C1	Graminho	Graminho	Conforme	Os valores encontram-se dentro do especificado no desenho técnico		11,35 - 11,55
				Não conforme	Os valores não se encontram dentro do especificado no desenho técnico		Acima: 11,55 Abaixo: 11,35
Altura do Orleado	C2	Paquímetro	Paquímetro	Conforme	Os valores encontram-se dentro do especificado no desenho técnico		2,0 - 2,2
				Não conforme	Os valores não se encontram dentro do especificado no desenho técnico		Acima: 2,2 Abaixo: 2,0
Abertura do Orleado	C4	Paquímetro	Paquímetro	Conforme	Os valores encontram-se dentro do especificado no desenho técnico		Min.3
				Não conforme	Os valores não se encontram dentro do especificado no desenho técnico		
Diâmetro Exterior do Orleado	C5	H 7624.1.1B**	Paquímetro	Conforme	A - O Componente entra no Calibre do Lado Passa		58,85 - 59,05
					B - O Componente não entra no Calibre do Lado Não Passa		
				Não conforme	A - O Componente não entra no Calibre do Lado Passa		Acima: 59,05 Abaixo: 58,85
					B - O Componente entra no Calibre do Lado Não Passa		

\* Na ausência de calibre, medir com o "Outro Meio de Controlo" indicado. Em caso de dúvida, medir com o "Outro Meio de Controlo" indicado.  
 \*\* O calibre H 7624.1.1B é partilhado com a linha 15 (AE2).

Elaborado por: Ana Martins      Aprovado por: Sofia Martins      Âmbito de Aplicação:  
 Data: 15-11-2018 Quality Technician      Data: 15-11-2018 Quality Leader AE      Linhas 69 - Célula AE2

## ANEXO H: Desenho Técnico das Cúpulas TP 48



## ANEXO I: Codificações de paragens

Codificação de Paragens		
Local	Código	Descrição Motivo
Alimentador	A001	Encravamentos
Prensa	P001	Medidas fora da especificação
	P002	Encravamentos
Sistema Visão	V001	Encravamentos
Orleador	E0230	Encravamentos
	E0231	Encravamento na grelha entrada
	E0232	Encravamento na grelha saída
Máquina de aplicar borracha	B004	Encravamentos
	B0040	Encravamentos - Direita
	B0041	Encravamentos - Esquerda
Transportadores	E0501	Encravamentos Poli
Fornos	E0301	Encravamentos



## ANEXO J: Dados para testes de precisão dos instrumentos de medição

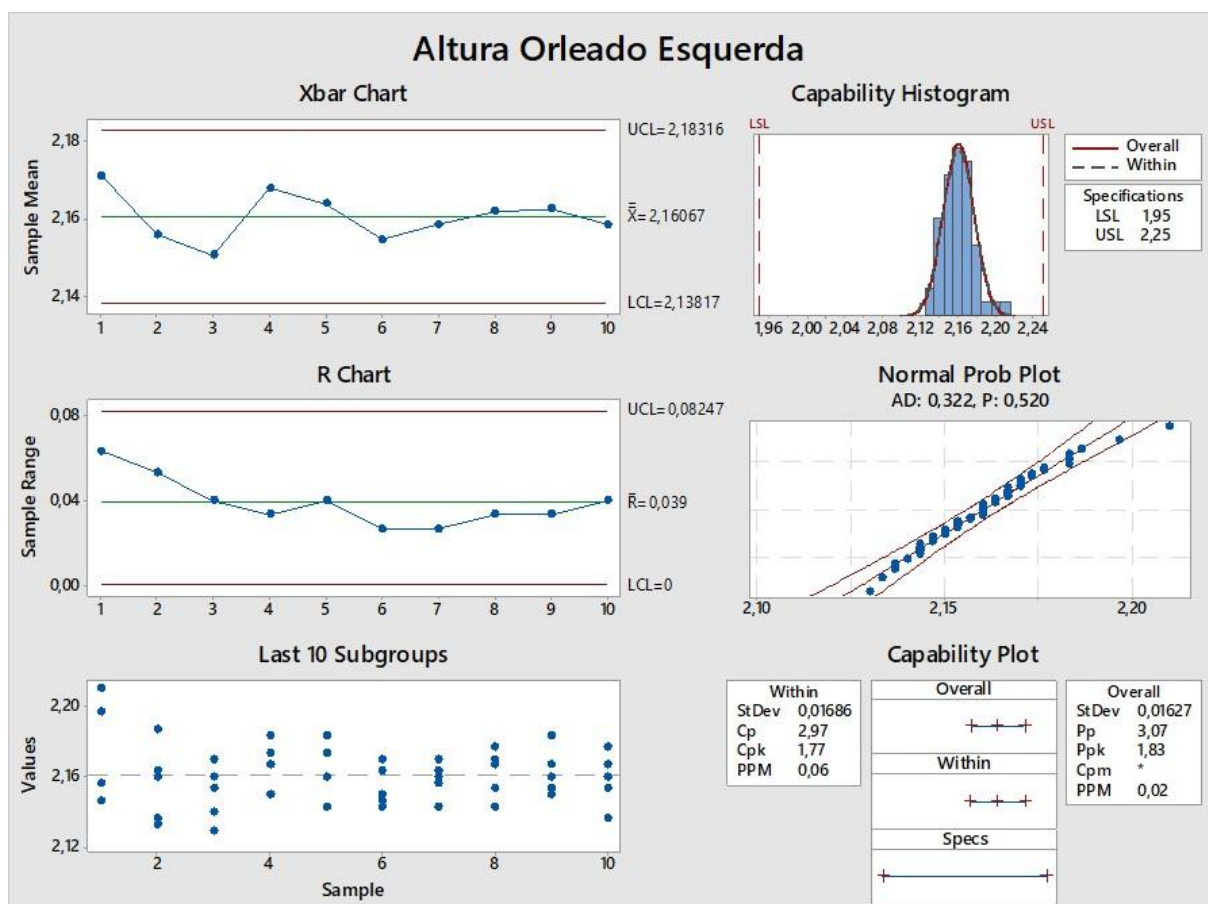
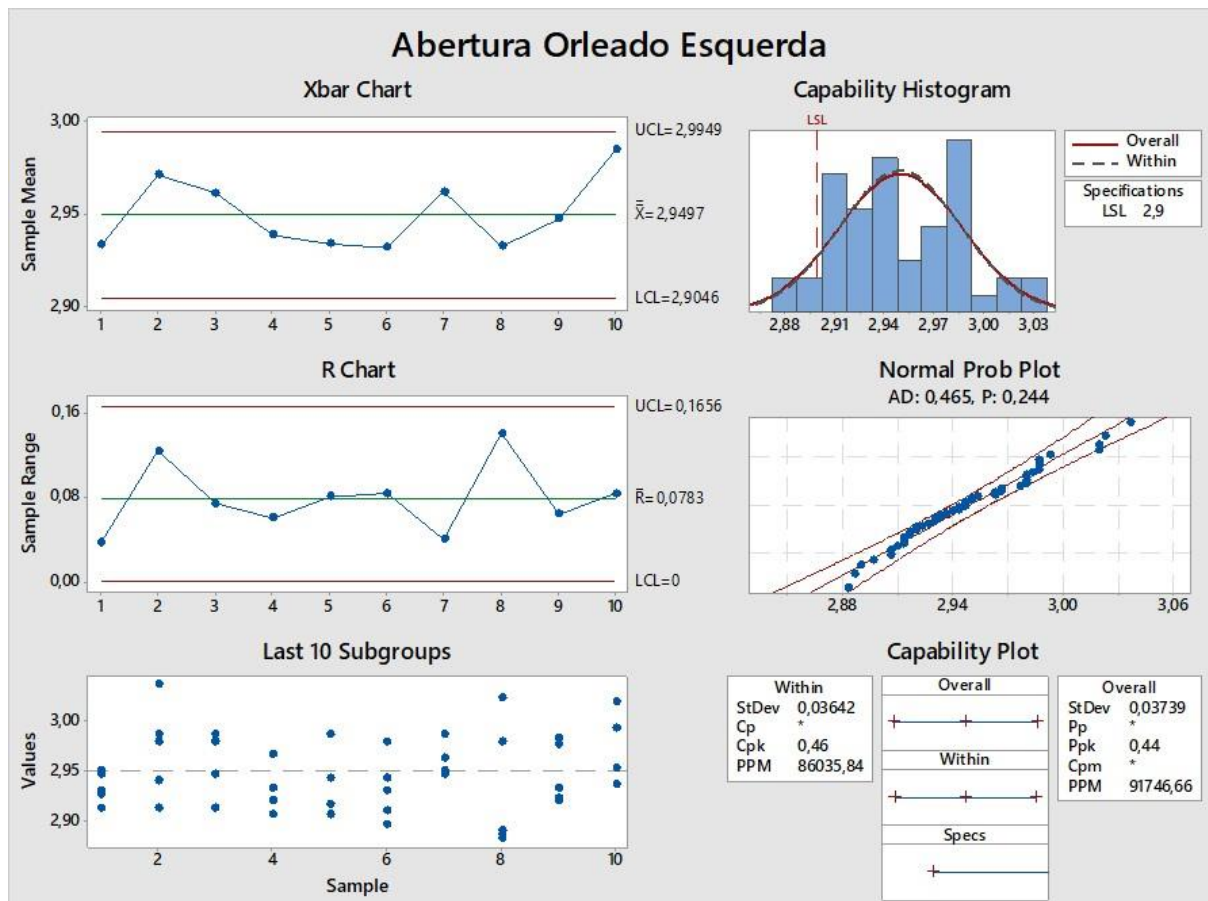
	Paquímetro- Diâmetro exterior		Paquímetro- abertura do orleado		Comparador digital- Altura do rebordo		Graminho- Altura Total	
	#1	#2	#1	#2	#1	#2	#1	#2
1	58,84	58,83	2,96	2,90	4,11	4,10	13,035	13,035
2	58,86	58,86	2,79	2,83	4,11	4,11	13,025	13,030
3	58,89	58,89	2,92	2,85	4,10	4,10	13,010	13,005
4	58,88	58,88	2,96	2,92	4,11	4,10	13,015	13,015
5	58,90	58,90	2,96	2,89	4,11	4,12	12,990	12,990
6	58,85	58,85	2,72	2,77	4,14	4,15	12,995	13,000
7	58,91	58,91	2,81	2,82	4,09	4,09	12,990	12,990
8	58,90	58,91	3,03	3,00	4,10	4,11	13,005	13,005
9	58,93	58,93	2,82	2,78	4,13	4,13	12,985	12,990
10	58,90	58,91	3,00	2,99	4,12	4,12	12,995	12,995
11	58,97	58,96	3,02	2,98	4,11	4,10	12,985	12,980
12	58,91	58,91	2,90	2,86	4,11	4,10	13,020	13,015
13	58,90	58,91	2,80	2,85	4,10	4,11	12,990	12,995
14	58,89	58,89	2,85	2,77	4,16	4,17	12,985	12,980
15	58,89	58,90	2,99	3,05	4,12	4,11	12,990	12,990
16	58,96	58,96	2,87	2,95	4,11	4,12	12,995	13,000
17	58,92	58,93	2,82	2,87	4,13	4,12	12,995	12,995
18	58,87	58,88	2,85	2,77	4,11	4,10	13,015	13,015
19	58,94	58,94	2,94	2,86	4,12	4,12	12,975	12,970
20	58,89	58,89	2,83	2,74	4,10	4,10	13,000	13,005
21	58,91	58,91	2,86	2,84	4,10	4,09	12,995	12,990
22	58,96	58,96	3,00	2,94	4,10	4,10	13,030	13,025
23	58,93	58,93	2,70	2,72	4,09	4,09	13,030	13,035
24	58,85	58,86	3,03	3,07	4,08	4,08	13,005	13,000
25	58,89	58,89	2,87	2,97	4,11	4,10	12,985	12,980
26	58,88	58,88	2,89	2,77	4,09	4,08	13,020	13,020
27	58,90	58,90	2,71	2,75	4,12	4,12	13,005	12,995
28	58,87	58,87	2,75	2,81	4,12	4,13	12,990	12,995
29	58,89	58,90	2,97	3,07	4,10	4,10	13,000	12,995
30	58,89	58,89	2,85	2,80	4,09	4,09	13,005	13,010

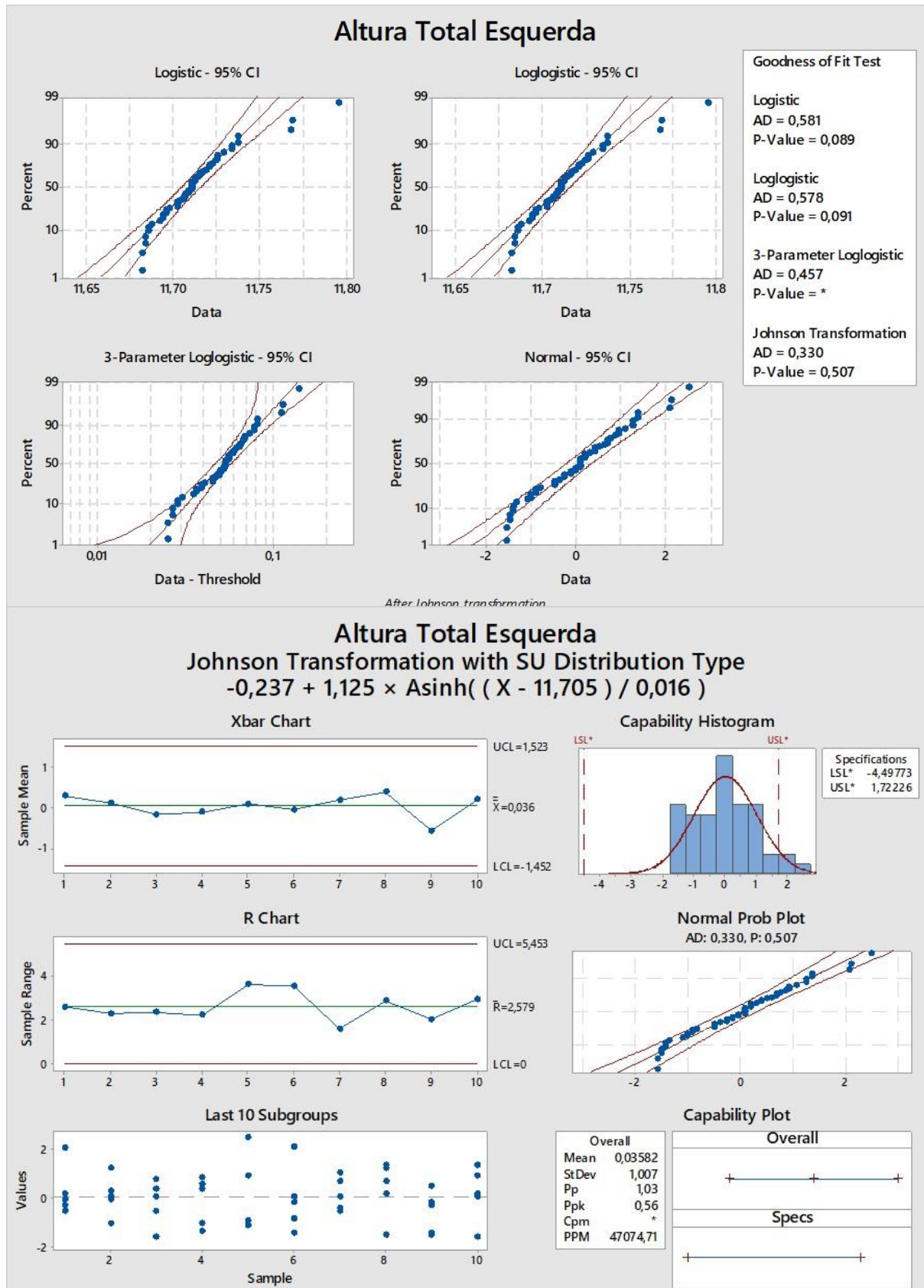
## ANEXO K: Exemplo de uma folha de anotação de valores

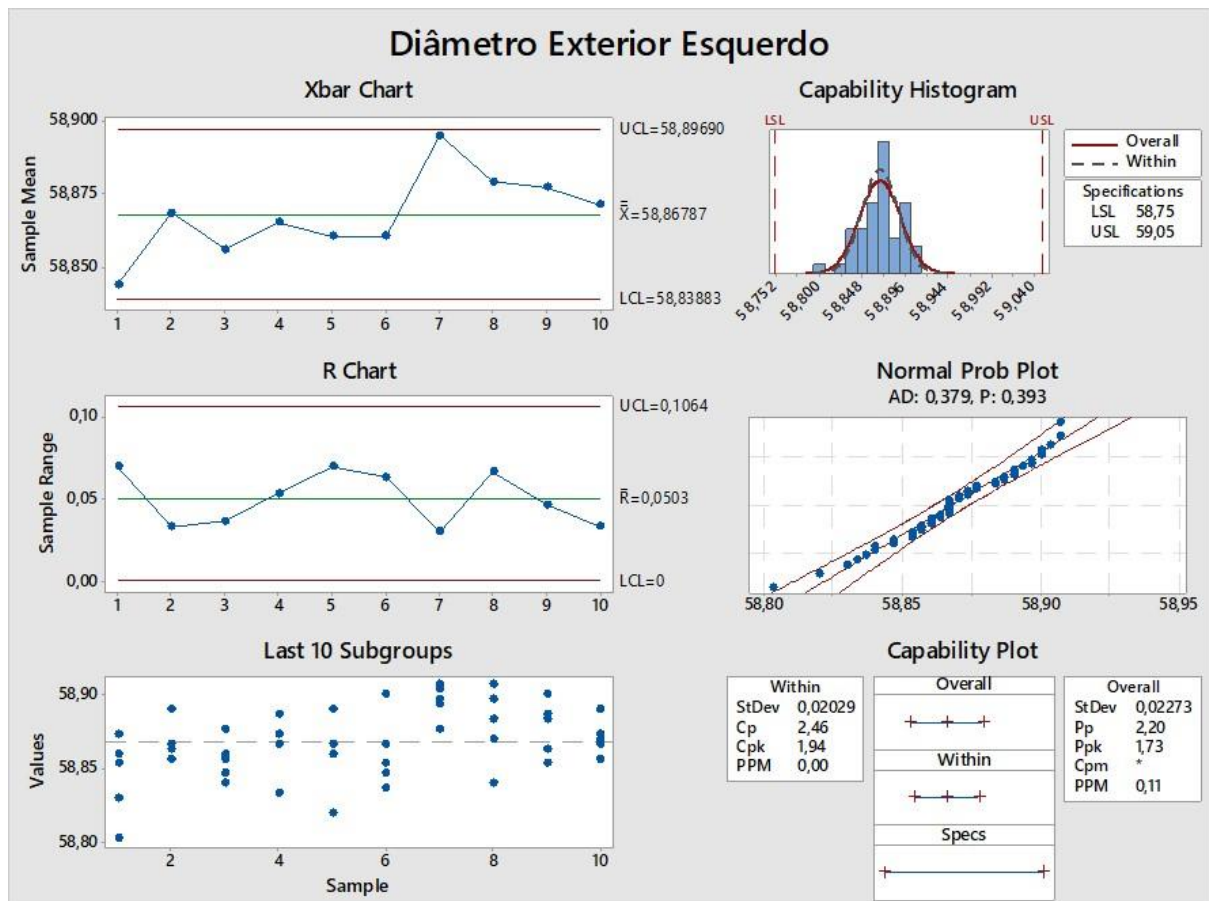
DESENHO	Revest.	Linha	AM	Abertura do Orleado Min. 2,9			Diâmetro Exterior 58,90±0,15			Altura do Orleado 2,1±0,15			Altura Total 11,55±0,2		
9044.02	EC WC 51-67384	69	1E												
			2E												
			3E												
			4E												
			5E												
			6E												
			7E												
			8E												
			9E												
			10E												
			11E												
			12E												
			13E												
			14E												
			15E												
			16E												
			17E												
			18E												
			19E												
			20E												
			21E												
			22E												
			23E												
			24E												
			25E												
			26E												
			27E												
			28E												
			29E												
			30E												
			31E												
			32E												
			33E												
			34E												
			35E												
			36E												
			37E												
			38E												
			39E												
			40E												
			41E												
			42E												
			43E												
			44E												
			45E												
			46E												
			47E												
			48E												
			49E												
			50E												

## ANEXO L: Dados obtidos e respectivas análises

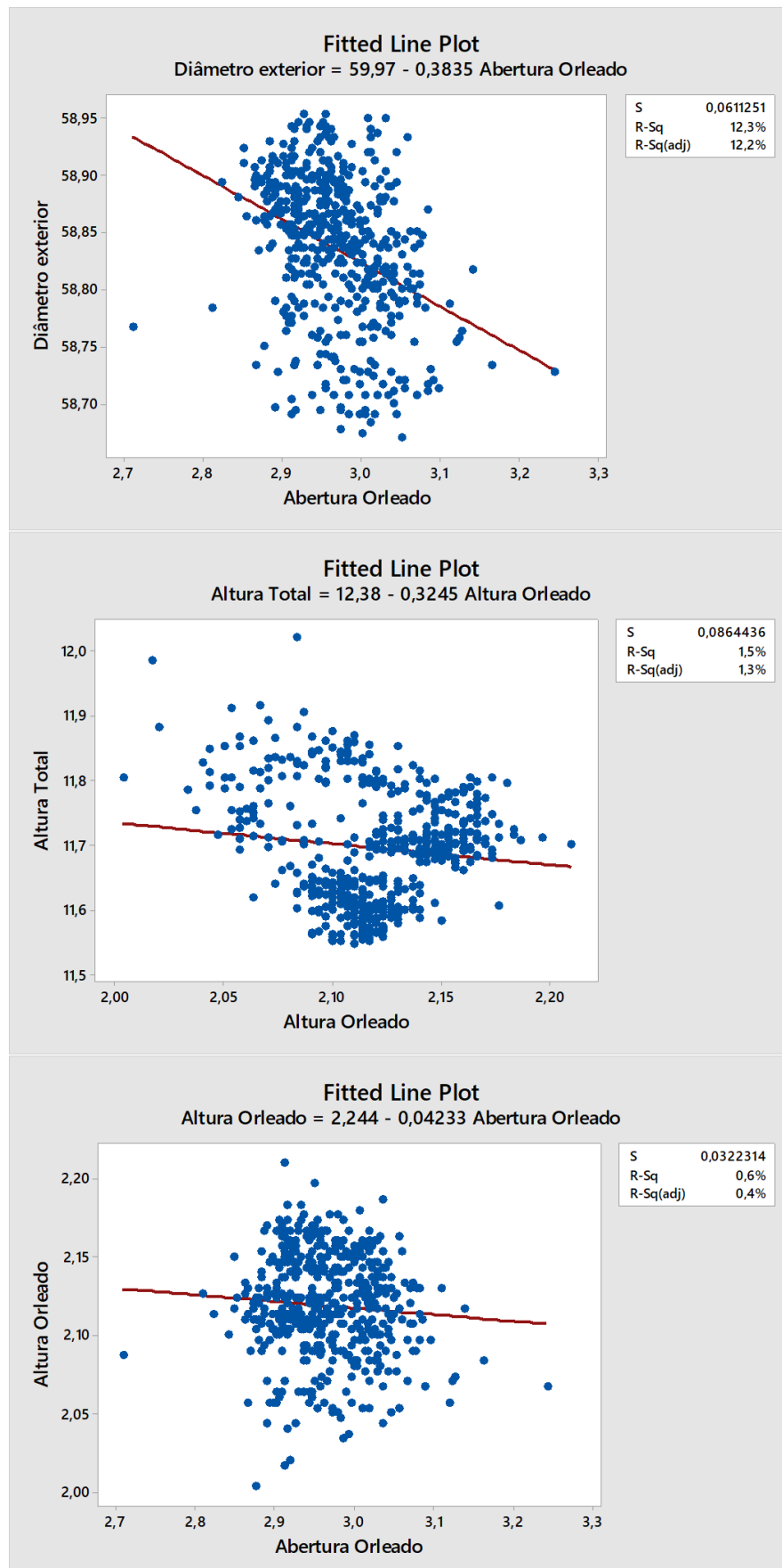
AM	Abertura do Orleado Min. 2,9			Diâmetro Exterior 58,90±0,15			Altura do Orleado 2,1±0,15			Altura Total 11,55±0,2		
1E	2.92	2.91	2.95	58.71	58.83	58.79	2.17	2.14	2.16	11.76	11.78	11.76
2E	2.87	2.95	2.97	58.81	58.82	58.78	2.13	2.14	2.17	11.71	11.705	11.7
3E	2.87	2.91	2.96	58.87	58.86	58.89	2.21	2.18	2.24	11.71	11.7	11.695
4E	2.92	2.97	2.96	58.87	58.86	58.85	2.18	2.19	2.22	11.71	11.715	11.71
5E	2.94	2.96	2.94	58.84	58.84	58.88	2.13	2.17	2.14	11.725	11.7	11.7
6E	2.94	2.98	3.02	58.85	58.85	58.90	2.13	2.15	2.12	11.7	11.715	11.715
7E	2.94	3.08	3.09	58.91	58.89	58.87	2.19	2.18	2.19	11.705	11.71	11.71
8E	2.99	3.02	2.95	58.84	58.85	58.88	2.17	2.16	2.15	11.73	11.735	11.735
9E	2.96	2.98	2.88	58.85	58.90	58.84	2.13	2.17	2.19	11.695	11.695	11.69
10E	2.93	2.87	2.94	58.88	58.85	58.87	2.14	2.14	2.13	11.72	11.71	11.71
11E	3.00	2.95	2.99	58.89	58.88	58.86	2.13	2.14	2.12	11.725	11.725	11.715
12E	2.91	2.94	2.99	58.84	58.87	58.86	2.14	2.17	2.2	11.705	11.695	11.705
13E	2.95	3.00	2.99	58.85	58.85	58.88	2.15	2.16	2.17	11.695	11.72	11.73
14E	2.90	2.94	2.90	58.83	58.84	58.87	2.15	2.13	2.18	11.695	11.715	11.72
15E	2.95	3.03	2.98	58.84	58.82	58.86	2.13	2.14	2.15	11.68	11.685	11.68
16E	2.91	2.86	2.95	58.84	58.81	58.85	2.17	2.15	2.2	11.68	11.69	11.69
17E	2.90	2.98	3.02	58.85	58.85	58.90	2.16	2.19	2.15	11.72	11.71	11.715
18E	3.02	2.94	2.94	58.87	58.87	58.88	2.16	2.16	2.18	11.72	11.715	11.72
19E	2.90	2.92	2.98	58.86	58.86	58.88	2.19	2.16	2.2	11.72	11.725	11.725
20E	2.90	2.95	2.91	58.90	58.90	58.86	2.13	2.16	2.16	11.695	11.69	11.695
21E	2.91	2.94	2.90	58.89	58.90	58.88	2.18	2.19	2.18	11.725	11.725	11.725
22E	2.96	2.98	2.89	58.86	58.90	58.82	2.16	2.15	2.17	11.695	11.695	11.695
23E	2.87	2.85	3.00	58.79	58.84	58.83	2.15	2.14	2.14	11.795	11.795	11.795
24E	3.00	3.00	2.96	58.81	58.90	58.89	2.17	2.18	2.17	11.695	11.69	11.69
25E	2.90	2.88	2.97	58.89	58.84	58.87	2.14	2.18	2.16	11.695	11.695	11.695
26E	2.87	2.93	2.89	58.82	58.89	58.89	2.17	2.14	2.14	11.685	11.685	11.685
27E	2.96	2.96	3.02	58.86	58.82	58.83	2.13	2.13	2.17	11.775	11.785	11.745
28E	2.87	2.96	2.90	58.85	58.84	58.85	2.15	2.14	2.2	11.7	11.69	11.7
29E	2.93	2.92	2.98	58.89	58.90	58.91	2.14	2.13	2.17	11.705	11.71	11.705
30E	2.96	2.87	2.96	58.82	58.87	58.87	2.18	2.17	2.16	11.71	11.71	11.71
31E	2.94	2.96	2.94	58.92	58.89	58.90	2.16	2.17	2.16	11.72	11.72	11.72
32E	3.00	2.94	2.95	58.93	58.89	58.87	2.14	2.16	2.13	11.73	11.73	11.725
33E	3.00	2.97	2.99	58.93	58.89	58.90	2.15	2.15	2.18	11.71	11.71	11.71
34E	2.96	2.90	3.03	58.91	58.89	58.88	2.14	2.18	2.15	11.705	11.695	11.705
35E	2.94	2.90	3.01	58.88	58.88	58.87	2.18	2.18	2.15	11.705	11.7	11.705
36E	2.97	2.87	2.82	58.82	58.88	58.82	2.2	2.14	2.16	11.66	11.695	11.695
37E	2.93	2.89	2.83	58.92	58.90	58.90	2.16	2.14	2.16	11.72	11.725	11.715
38E	2.99	3.06	3.02	58.88	58.89	58.92	2.17	2.13	2.13	11.715	11.71	11.71
39E	2.94	2.90	2.83	58.85	58.86	58.90	2.2	2.16	2.15	11.74	11.74	11.73
40E	2.99	2.93	3.02	58.87	58.85	58.93	2.17	2.17	2.19	11.735	11.735	11.73
41E	2.89	2.92	2.95	58.89	58.89	58.87	2.21	2.13	2.16	11.705	11.71	11.705
42E	2.91	2.98	3.06	58.88	58.88	58.94	2.16	2.15	2.14	11.685	11.685	11.685
43E	2.91	2.86	3.03	58.87	58.85	58.84	2.15	2.2	2.2	11.715	11.715	11.72
44E	2.97	2.86	2.94	58.92	58.86	58.81	2.14	2.16	2.16	11.66	11.695	11.695
45E	2.93	3.00	3.00	58.90	58.89	58.87	2.16	2.18	2.14	11.705	11.705	11.705
46E	3.00	3.01	2.97	58.86	58.89	58.87	2.16	2.19	2.15	11.68	11.685	11.68
47E	2.85	2.91	3.05	58.83	58.88	58.86	2.16	2.17	2.2	11.725	11.72	11.69
48E	2.95	3.05	3.06	58.86	58.88	58.87	2.14	2.14	2.18	11.725	11.725	11.725
49E	3.00	3.02	3.04	58.87	58.85	58.88	2.16	2.17	2.15	11.735	11.74	11.735
50E	2.95	2.95	2.96	58.87	58.91	58.89	2.12	2.16	2.13	11.71	11.71	11.71







## ANEXO M: Gráficos de dispersão entre cotas dimensionais no ensaio da linha 67





## ANEXO N: Dados para a experiência 2 para um dos segmentos

AM	Abertura do Orleado Min. 2,9			Diâmetro Exterior 58,90±0,15			Altura do Orleado 2,1±0,15			Altura Total 11,55±0,2		
1E	3.37	3.56	3.52	58.77	58.81	58.76	1.96	1.8	1.82	12.085	12.085	12.085
2E	3.62	3.52	3.48	58.71	58.76	58.82	1.94	1.8	1.74	12.1	12.1	12.1
3E	3.57	3.45	3.27	58.77	58.77	58.79	1.82	1.95	1.75	12.1	12.1	12.1
4E	3.40	3.44	3.46	58.71	58.72	58.82	1.82	1.78	1.78	12.085	12.08	12.08
5E	3.43	3.38	3.36	58.80	58.86	58.75	1.72	1.78	1.91	12.085	12.08	12.08
6E	3.49	3.40	3.61	58.73	58.80	58.76	1.96	1.76	1.81	12.085	12.085	12.085
7E	3.39	3.27	3.46	58.77	58.80	58.75	1.8	1.9	1.79	12.07	12.07	12.07
8E	3.45	3.48	3.62	58.76	58.70	58.80	1.88	1.84	1.76	12.095	12.095	12.1
9E	3.39	3.57	3.51	58.81	58.71	58.77	1.78	1.75	1.8	12.115	12.115	12.115
10E	3.33	3.29	3.32	58.80	58.77	58.73	1.8	1.84	1.91	12.08	12.075	12.08
11E	3.40	3.14	3.33	58.77	58.74	58.80	1.86	1.87	1.76	12.1	12.1	12.1
12E	3.30	3.01	3.41	58.81	58.75	58.65	1.89	1.82	1.91	12.08	12.07	12.08
13E	3.20	3.22	3.23	58.81	58.89	58.69	2.02	1.8	1.91	12.13	12.125	12.13
14E	3.33	3.04	3.13	58.79	58.71	58.75	2.01	1.89	1.84	12.08	12.08	12.08
15E	3.30	3.42	3.55	58.80	58.78	58.71	1.87	1.84	1.91	12.09	12.09	12.09
16E	3.35	3.30	2.99	58.68	58.76	58.77	1.87	1.99	1.95	12.095	12.095	12.095
17E	3.08	3.25	3.19	58.74	58.69	58.74	1.82	1.93	1.9	12.05	12.055	12.05
18E	3.45	3.77	3.53	58.82	58.64	58.84	1.83	1.77	1.97	12.035	12.035	12.035
19E	3.10	3.83	3.45	58.69	58.59	58.71	2.07	1.81	1.88	12.145	12.14	12.14
20E	3.46	3.56	3.47	58.63	58.81	58.84	1.84	1.87	1.87	12.095	12.095	12.095
21E	3.49	3.57	3.39	58.81	58.80	58.71	1.83	1.83	2.02	12.085	12.085	12.085
22E	3.37	3.40	3.60	58.69	58.80	58.89	1.97	1.78	1.86	12.1	12.1	12.1
23E	3.38	3.45	3.42	58.80	58.88	58.69	1.82	1.99	1.81	12.115	12.11	12.11
24E	3.36	3.29	3.42	58.71	58.82	58.86	1.76	1.81	1.82	12.095	12.085	12.085
25E	3.34	3.21	3.04	59.03	58.48	58.38	2.09	2.12	2.09	11.82	11.825	11.82
26E	3.43	3.44	2.90	58.98	58.50	58.97	2.12	2.14	2.15	11.76	11.755	11.76
27E	3.47	3.24	2.86	58.48	58.52	58.95	2.16	2.14	2.1	11.795	11.78	11.79
28E	3.97	2.81	2.84	58.90	58.55	58.48	2.11	2.14	2.16	11.83	11.825	11.83
29E	4.10	2.91	2.91	58.56	58.46	58.90	2.17	2.13	2.23	11.785	11.785	11.785
30E	3.35	3.39	2.86	58.53	58.49	58.88	2.13	2.19	2.09	11.79	11.79	11.785
31E	3.64	3.93	2.68	58.42	58.51	58.88	2.14	2.12	2.11	11.785	11.785	11.785
32E	3.55	3.65	2.74	58.48	58.36	58.92	2.08	2.13	2.13	11.825	11.825	11.825
33E	4.37	3.15	2.93	58.60	58.77	58.83	2.11	2.1	2.17	11.815	11.81	11.815
34E	4.23	2.79	2.89	58.56	58.70	59.04	2.1	2.18	2.2	11.805	11.8	11.805
35E	3.75	2.88	2.85	58.47	58.49	58.83	2.14	2.14	2.11	11.805	11.8	11.805
36E	4.15	3.49	2.93	58.57	58.62	58.99	2.09	2.14	2.17	11.825	11.82	11.825
37E	3.02	2.94	3.01	58.96	58.97	58.96	2.2	2.17	2.23	11.42	11.42	11.42
38E	3.06	3.11	3.01	59.03	58.98	59.02	2.2	2.19	2.17	11.415	11.415	11.42
39E	2.94	3.12	3.11	59.04	59.01	59.01	2.19	2.17	2.22	11.36	11.36	11.355
40E	3.09	2.97	2.98	58.91	59.03	59.01	2.19	2.19	2.22	11.42	11.415	11.415
41E	2.99	2.95	3.06	59.01	58.93	59.00	2.19	2.21	2.18	11.415	11.42	11.415
42E	2.98	2.98	3.00	58.96	58.98	58.97	2.19	2.2	2.21	11.43	11.43	11.425
43E	3.08	3.16	3.09	59.01	59.01	59.03	2.22	2.23	2.19	11.385	11.385	11.38
44E	3.16	3.08	3.01	59.00	59.01	58.97	2.22	2.21	2.23	11.43	11.425	11.425
45E	3.02	2.96	3.09	58.98	58.96	59.00	2.23	2.19	2.18	11.425	11.43	11.425
46E	3.07	3.04	3.13	58.97	58.98	58.97	2.2	2.18	2.23	11.445	11.445	11.44
47E	3.14	2.99	3.02	59.00	58.98	58.99	2.18	2.18	2.24	11.42	11.42	11.415
48E	3.08	3.13	2.96	58.90	58.97	58.98	2.18	2.21	2.19	11.46	11.46	11.455



## ANEXO O: Relógio comparador



O comparador da Mitutoyo é composto por 2 partes, um posicionador magnético, para fixar o instrumento na prensa, e um relógio comparador. Este último, mede a diferença do comprimento da haste entre a sua posição de referência e a posição a medir. O procedimento para a sua utilização é colocar a ponta de contacto num ponto inicial como medida padrão e ajusta-se o ponteiro do relógio para o zero. Depois de uma movimentação, a ponta de contacto acompanha o movimento e o relógio regista a variação de distâncias. Sendo que, uma rotação no sentido horário indica um aumento em relação ao ponto inicial e o sentido oposto, uma diminuição.

## ANEXO P: Dados da experiência 3

Para o segmento esquerdo:

Linha	AM	Abertura do Orleado Min. 2,9			Diâmetro Exterior 58,95±0,1			Altura do Orleado 2,0±0,2			Altura Total 11,6±0,15		
69	1E	3,08	3,15	3,08	58,61	58,59	58,56	1,91	1,89	1,94	12,190	12,180	12,185
	2E	3,07	2,98	3,03	58,58	58,62	58,63	1,89	1,95	1,87	12,155	12,140	12,150
	3E	3,07	3,08	3,03	58,65	58,57	58,56	1,89	1,89	1,86	12,135	12,145	12,130
	4E	3,00	3,00	3,10	58,65	58,60	58,60	1,89	1,92	1,91	12,175	12,180	12,180
	5E	2,99	3,08	3,11	58,56	58,59	58,65	1,94	1,90	1,91	12,170	12,165	12,160
	6E	2,89	2,88	2,94	58,92	58,97	58,91	2,20	2,16	2,14	11,435	11,435	11,440
	7E	2,97	2,81	2,89	58,94	58,98	58,93	2,16	2,17	2,19	11,430	11,435	11,445
	8E	2,86	2,93	2,91	58,96	58,93	58,98	2,21	2,15	2,15	11,470	11,480	11,475
	9E	2,94	3,00	2,98	58,92	58,92	58,91	2,15	2,23	2,22	11,430	11,435	11,440
	10E	2,94	2,93	2,89	58,99	58,92	58,98	2,24	2,17	2,17	11,455	11,460	11,455
	11E	2,90	2,93	2,85	58,87	58,90	58,88	2,25	2,19	2,16	11,585	11,595	11,585
	12E	3,02	2,97	2,97	58,87	58,88	58,92	2,19	2,24	2,18	11,570	11,575	11,570
	13E	3,01	2,92	2,84	58,91	58,94	58,93	2,15	2,23	2,16	11,520	11,515	11,525
	14E	2,85	3,01	3,00	58,89	58,88	58,94	2,21	2,18	2,22	11,555	11,565	11,550
	15E	2,86	2,89	2,94	58,88	58,90	58,87	2,20	2,23	2,17	11,520	11,510	11,515

Para o segmento direito:

Linha	AM	Abertura do Orleado Min. 2,9			Diâmetro Exterior 58,95±0,1			Altura do Orleado 2,0±0,2			Altura Total 11,6±0,15		
69	1D	3,10	3,07	3,12	58,65	58,65	58,60	1,87	1,88	1,91	12,170	12,175	12,175
	2D	3,06	2,98	3,13	58,55	58,58	58,57	1,85	1,94	1,91	12,140	12,150	12,150
	3D	3,00	3,00	3,04	58,59	58,65	58,59	1,86	1,85	1,86	12,130	12,125	12,114
	4D	2,98	3,14	3,05	58,56	58,58	58,56	1,87	1,92	1,85	12,155	12,155	12,155
	5D	3,00	3,02	2,96	58,59	58,57	58,57	1,90	1,89	1,93	12,185	12,180	12,180
	6D	2,84	2,87	2,88	58,96	58,95	58,98	2,22	2,23	2,20	11,445	11,445	11,450
	7D	2,84	2,93	2,91	58,98	58,96	58,94	2,21	2,16	2,24	11,465	11,460	11,470
	8D	2,99	2,88	2,85	58,98	58,98	58,95	2,22	2,16	2,24	11,485	11,485	11,480
	9D	2,91	2,96	2,85	58,93	58,99	58,92	2,17	2,24	2,20	11,405	11,410	11,410
	10D	2,94	2,83	2,93	58,96	58,90	58,94	2,20	2,18	2,18	11,450	11,455	11,450
	11D	2,96	2,93	2,90	58,86	58,91	58,91	2,22	2,25	2,22	11,510	11,520	11,525
	12D	2,96	2,90	2,98	58,90	58,93	58,94	2,18	2,21	2,22	11,565	11,575	11,560
	13D	2,98	2,83	2,84	58,89	58,89	58,91	2,20	2,19	2,20	11,555	11,555	11,550
	14D	2,95	2,92	2,91	58,92	58,94	58,90	2,23	2,22	2,19	11,575	11,580	11,575
	15D	2,95	2,95	2,85	58,91	58,95	58,93	2,22	2,21	2,15	11,550	11,565	11,550

## ANEXO Q: Resultados carga horária e peso movido por turno em cada linha



(De realçar que a falta de dados na linha 17 para os pesos deu-se devido à paragem da linha durante um grande período de tempo, não sendo possível a recolha de todos os dados.)

## ANEXO R: Blocos de senhas

**AEROSSÓIS MONTAGEM** AEN<sup>o</sup> 2468

25-03-2019 11:03:14

LINHA 17

DATA 25-03-19

HORA 10h e 40m

SUPERVISOR [Assinatura]

CARGA CONTENTOR DE SUCATA

1/4	2/4	3/4	4/4
-----	-----	-----	-----

Uma senha é composta por 2 partes iguais como a que se apresenta. As 2 senhas são preenchidas pelo operador responsável pela linha quando 1 contentor está cheio. Apresentam uma data de saída da linha, a linha de onde origina e o operador. Depois de preenchidas, uma das partes irá permanecer no bloco, enquanto que a outra irá acompanhar o contentor até à zona de pesagens. Na zona de pesagens a senha é associada a um peso e guardada. Sempre que for necessário, é possível controlar as senhas de cada linha e garantir que não existem pesos introduzidos no sistema informático de linhas erradas. Também permite associar um peso de desperdício técnico à produção feita.